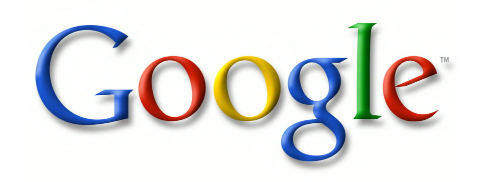


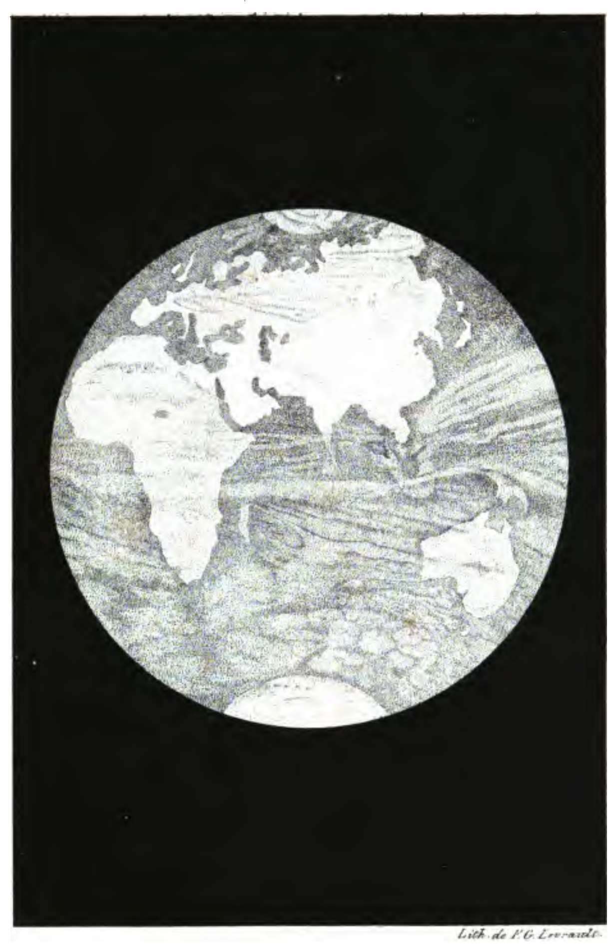
RECHERCHES

SUR LA

PARTIE THÉORIQUE DE LA GÉOLOGIE.

STRASBOURG, IMPRIMERIE DE F. G. LEVRAULT.

LA TERRE



Lith. de F. G. Levrault.

Vue de l'espace.

RECHERCHES

SUR

LA PARTIE THÉORIQUE

DE LA GÉOLOGIE,

PAR

HENRY T. DE LA BÊCHE,

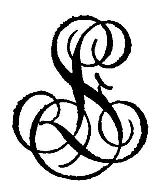
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE,

SECRÉTAIRE POUR L'ÉTRANGER DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE LONDRES, ETC.

Traduites de l'anglais

PAR H. DE COLLEGNO,

SECRÉTAIRE POUR L'ÉTRANGER DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE.

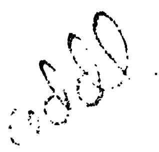


A PARIS,

Chez F. G. LEVRAULT, rue de la Harpe, n.° 81,

STRASBOURG, même maison, rue des Juifs, n.° 33.

1838.



EARTH SCIENCES

PRÉFACE DU TRADUCTEUR.

On a désigné longtemps sous le nom de théorie de la terre, une réunion bizarre d'hypothèses plus ou moins hardies sur la formation de notre globe. C'était d'abord une comète qui heurtait obliquement le soleil et dispersait dans l'espace des éclaboussures de ce corps; puis d'autres comètes venaient choquer la terre et changer son axe de rotation. De vastes cavités s'ouvraient à l'intérieur du globe pour absorber les eaux surabondantes de sa surface. Quelques auteurs allaient jusqu'à imaginer autour de la terre primitive un anneau analogue à celui de Saturne; la rupture de cet anneau et la chute de ses fragments auraient produit suivant eux les grandes chaînes de montagnes qui sillonnent la surface de notre planète! En vain les plus grands génies qui aient honoré l'humanité avaient-ils fait de l'histoire de la terre le sujet de leurs méditations; quelques-uns d'entre eux avaient deviné une partie de la vérité, parce que *c'est un privilége des hommes de génie que la vérité leur apparaisse jusque dans leurs songes;* mais leurs découvertes ou plutôt leurs inspirations n'avaient pu prendre rang parmi les connaissances scientifiques. C'est que Leibnitz, Descartes,

Buffon se plaçaient tout d'abord, dans leurs recherches sur l'origine de notre globe, au point de vue que M. Ampère a nommé *cryptologique* [1]; ils prétendaient remonter aux causes d'effets qui n'avaient point été suffisamment étudiés; ils cherchaient à découvrir ce qu'il y avait de plus caché dans l'histoire de la terre, lorsque personne n'avait songé encore à en examiner avec soin les apparences extérieures.

Cette manière de procéder était contraire « à l'essence « même de l'intelligence humaine, qui tend à s'élever « successivement dans l'étude d'un objet quelconque en « examinant d'abord ce qu'il nous présente immédia- « tement, et qu'il met en quelque sorte sous nos yeux: « cherchant ensuite à déterminer ce qu'il y a de caché « dans ces mêmes objets; puis comparant les variations « qu'éprouvent les objets étudiés, afin de déduire de « cette comparaison les lois qui président à ces varia- « tions.[2] »

Ces trois points de vue, appliqués à l'étude de la terre par le savant auteur de la Classification des connaissances humaines, lui avaient donné la base de trois sciences dont l'étude doit précéder celle de la théorie de la terre. Ce sont la *Géographie physique*, la *Minéralogie* et la *Géonomie* ou *Géognosie*. Or ce n'est guère que vers la fin du dix-huitième siècle que ces trois sciences ont pris tout

[1] *Essai sur la philosophie des sciences*, ou *Exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*, page 43.

[2] *Ibid.*, p. 42.

leur développement. Qu'était en effet la géographie physique avant que les travaux de Pallas, de Saussure, de Ramond nous eussent appris à connaître l'Oural, les Alpes, les Pyrénées? Et dira-t-on que la minéralogie était une science avant Haüy, ou la géognosie avant Werner?

Ce n'est donc qu'aujourd'hui qu'il est permis « de « remonter aux causes des lois qui régissent les trois « sciences que nous venons de mentionner; de chercher « à découvrir quels changements successifs ou quelles « révolutions soudaines ont mis le globe dans l'état où « nous le voyons; quelles sont les causes qui ont amené « ces formations successives dont nous reconnaissons « l'existence, ou qui ont incliné et brisé çà et là les « couches composant l'écorce du globe.[1] » Tel est, d'après M. Ampère, l'objet de la science qui complète nos connaissances relatives au globe terrestre, et à laquelle il a donné le nom de *Théorie de la terre*; tel est aussi le but que s'est proposé M. De La Bêche dans ses Recherches sur la partie théorique de la géologie; recherches qu'il avait fait précéder par le Manuel géologique, dont elles sont en quelque sorte le complément.

Les géologues désiraient depuis longtemps une traduction de cet ouvrage. Il eût été à désirer que M. Brochant de Villiers eût voulu être l'interprète des idées théoriques de M. De La Bêche, comme il l'a été de ses idées géono-

[1] *Essai sur la philosophie des sciences, etc.*, page 90.

miques. Si je m'en suis chargé, ce n'est que d'après l'assurance que les occupations multipliées de M. Brochant de Villiers ne lui permettaient point de le faire : j'espère que cette considération me fera pardonner tout ce que ma traduction pourra présenter de défauts, si on la compare à celle du Manuel géologique.

H. DE COLLEGNO.

PRÉFACE DE L'AUTEUR.

On a fortement insisté dans l'ouvrage suivant sur la fluidité ignée primitive de notre planète; l'auteur déclare cependant qu'il n'est pas tellement attaché à cette hypothèse, qu'il ne soit prêt à l'abandonner le jour où l'on mettra en avant d'autres idées qui puissent mieux expliquer un nombre égal de faits observés. On ne peut espérer d'arriver à la vérité qu'à travers mille erreurs, et avec un ferme propos d'abandonner toute idée préconçue, lorsqu'il sera prouvé qu'une telle idée est insoutenable, plutôt que de s'obstiner à soutenir une opinion par la seule raison qu'on l'a une fois adoptée. Lorsqu'on s'attache à défendre une théorie particulière, en insistant seulement sur les faits qui paraissent venir à l'appui de cette théorie, on court constamment le risque de se tromper soi-même et de tromper les autres. Le devoir d'un auteur est d'exposer franchement les faits tels qu'ils sont, sans examiner si ces faits appuient le système qu'il suit, ou bien s'ils lui sont contraires, afin que les lecteurs puissent juger de l'importance des faits observés.

Plus une idée est simple, plus elle approche en général de la vérité. Aussi l'auteur de cet ouvrage a toujours

cherché à arriver à une cause simple, pouvant expliquer le plus grand nombre de faits observés, telle que la fluidité ignée primitive de la terre, plutôt que d'adopter d'autres idées plus neuves, mais qui n'ont pas autant de simplicité. Peut-être n'a-t-il pas toujours réussi à rapporter les effets à leurs véritables causes; mais, si ses conclusions ne sont pas toujours exactes, il espère du moins qu'on ne pourra pas l'accuser d'avoir mis de la mauvaise foi dans l'exposition des faits, dans le but de favoriser une hypothèse donnée quelconque.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE PREMIER.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

CHAPITRE VII.

CHAPITRE VIII.

CHAPITRE IX.

CHAPITRE X.

CHAPITRE XI.

CHAPITRE XII.

CHAPITRE XIII.

CHAPITRE XIV.

CHAPITRE XV.

CHAPITRE XVI.

CHAPITRE XVII.

CHAPITRE XVIII.

APPENDICE.

RECHERCHES

SUR LA PARTIE THÉORIQUE

DE LA GÉOLOGIE.

CHAPITRE PREMIER.

Le soleil et les diverses planètes connues de notre système solaire ont des densités différentes ; il s'ensuit que ces corps sont respectivement composés d'éléments différents, ou bien que les mêmes éléments n'existent pas dans chaque planète sous des conditions précisément égales. Une densité donnée n'est donc point nécessaire à l'existence d'une planète, et par conséquent rien ne démontre *à priori* que la densité d'une planète telle que la terre ne puisse avoir changé durant la succession des temps.

Rien ne prouve d'une manière directe que la matière dont sont composées les autres planètes soit ou non identique avec celle de la terre. Mais la simplicité et la grandeur du plan de la création portent à supposer que les caractères généraux de la matière ne doivent point être essentiellement différents dans les diverses planètes ; et qu'il doit en être ici comme dans le règne organique, où nous voyons une variété infinie de formes résulter de la combinaison d'un petit nombre de substances élémentaires.

On peut donc admettre, sans blesser les règles de la saine philosophie, que la matière des diverses planètes ne diffère pas essentiellement dans ses caractères généraux ; dès lors il doit exister dans chacun de ces corps un agent ou une force quelconque, qui y contrebalance, d'une manière inégale, les effets de la gravité : sans cela une grande planète, telle que Saturne, ne serait pas moins dense que la terre. Que si l'on cherche quel peut être cet agent, c'est le calorique qui se présente d'abord naturellement à notre pensée ; en effet, ce fluide impondérable est capable de changer la densité de tous les corps ; et il y a toute raison de croire que toute la matière pondérable pourrait passer à l'état gazeux par l'application d'une chaleur suffisamment intense. On a calculé que l'effet de la pesanteur à la surface du soleil était tel, qu'un homme, s'il pouvait y être transporté, y serait écrasé par son propre poids. Toutefois

la densité du soleil est comparativement peu considérable. On en a conclu qu'il doit exister, dans son intérieur, une chaleur immense qui le rend capable de résister à la pression énorme qui s'exerce à sa surface[1]. Ce raisonnement n'est pas applicable seulement au soleil; il doit l'être aussi aux grandes planètes, telles que Saturne dont on regarde la densité comme n'excédant pas de beaucoup celle du liége[2]. Or, si l'on admet qu'il existe à l'intérieur de Saturne une chaleur capable de contrebalancer les effets de la pression de la matière qui gravite vers le centre, et de diminuer la densité qu'aurait la planète sans l'existence de cette chaleur, rien ne paraît s'opposer *à priori* à ce qu'il puisse exister à l'intérieur de la terre aussi, une chaleur considérable, capable d'en modifier la densité. D'après ce qui précède, et en admettant que la matière de notre planète soit analogue à celle qui constitue les autres corps de notre système solaire, les différences de densité des planètes seraient dues surtout aux différentes intensités de la chaleur dans chacun de ces astres.

Il paraît à peu près certain que plusieurs des planètes, celles du moins qui sont comparativement voisines du soleil, ont une atmosphère. Si on admet l'existence de ces atmosphères, on a la preuve que la matière se trouve au moins à deux états dans ces corps. Dès lors il n'y a aucune difficulté à avancer encore d'un pas et à admettre que la matière peut exister dans toutes les planètes sous les trois formes, solide, liquide et gazeuse. Ce que nous venons de dire n'est peut-être point applicable aux astres d'un moindre volume qui portent le nom de satellites. On suppose communément que la lune n'a point d'atmosphère; on ne peut cependant guère admettre cette supposition comme étant d'une vérité absolue, si l'on a égard aux caractères de volcanicité que présente la surface de notre satellite. Sir J. Herschel a observé à la surface de la lune des apparences qui le portent à conclure qu'il y a sur quelques-unes des montagnes lunaires « des marques décisives de stratification volca« nique, provenant de dépôts successifs de matières d'éruption.[3] » Or il faudrait que les éruptions volcaniques de la lune fussent bien différentes de celles qui ont lieu à la surface de la terre, pour qu'elles ne fussent point accompagnées d'émanations gazeuses. S'il se dégage des gaz dans les éruptions volcaniques lunaires, l'action de la pesanteur doit nécessairement les abaisser à la surface de la lune, et ils ne peuvent en disparaître que d'une des trois manières suivantes: 1.° par leur combinaison avec des matières solides ou liquides; 2.°

[1] Herschel, *Treatise on Astronomy*, p. 239.
[2] *Ibid.*, p. 278.
[3] *Ibid.*, p. 229.

par l'action d'un froid intense; 3.° par l'effet d'une grande pression. La pression à la surface de la lune ne peut provenir que de l'attraction de la lune même, et cette attraction n'est certes point capable de condenser des matières gazeuses. La combinaison avec des matières liquides ou solides dépend nécessairement des affinités chimiques entre les divers corps, et s'il existe quelque analogie entre la matière de la lune et celle de la terre, quelques-uns des gaz, dégagés par les volcans lunaires, existeront pendant quelque temps du moins à l'état libre, avant de disparaître totalement par leur combinaison avec les liquides et solides de la surface. Si donc les éruptions volcaniques lunaires avaient lieu avec une certaine fréquence, il devrait exister des gaz à la surface de la lune, à moins que la température de cette surface ne fût tellement basse, que ces gaz en fussent condensés au moment même de leur émanation.

Si l'on admet, d'après les calculs de Fourier, que les espaces planétaires ont une température de — 50° centigrades, le rayonnement de la chaleur sera plus rapide dans des astres d'un volume relativement peu considérable, tels que la lune, que dans les corps plus volumineux, tels que Saturne; en supposant toutefois que les diverses planètes et leurs satellites ont été formés contemporainement, que tous ces astres avaient une même température initiale supérieure à celle de l'espace ambiant, et qu'ils sont tous composés de matière semblable. Dans cette hypothèse la lune et la terre n'auraient point conservé longtemps des températures égales, la première se refroidissant plus rapidement que la seconde, en sorte qu'il aura pu régner un grand froid à la surface de la lune, tandis que la terre était encore à une température fort élevée. D'après cette manière de voir on pourrait supposer que la surface lunaire est aujourd'hui à une température si basse, qu'il ne peut y exister une atmosphère à l'état gazeux; si ce n'était l'influence des rayons solaires qui, sur les parties au moins qui sont exposées au soleil, doivent contre-balancer les effets du froid supposé à la surface de la lune. Il est donc assez difficile de considérer la surface de notre satellite comme entièrement dépouillée de substances gazeuses, si l'action volcanique y est aussi fréquente que certaines apparences portent à le conjecturer.

Les taches blanches aux pôles de Mars sont dues, croit-on, à la présence de grandes calottes de neige, « puisqu'elles disparaissent « lorsqu'elles ont été longtemps exposées au soleil, et qu'elles cou-« vrent de plus grands espaces lorsqu'elles viennent de sortir de « la longue nuit de leur hiver polaire.[1] » On aurait là une preuve

[1] Herschel, *Treatise on Astronomy*, p. 270.

que la matière inorganique peut, à la surface de Mars, avoir les mêmes formes qu'à la surface de la terre, et y obéir aux mêmes lois.

De ce que les planètes seraient composées d'éléments chimiques plus ou moins analogues, il ne s'ensuit nullement que tous les corps de notre système solaire soient formés d'une matière identique. L'enveloppe lumineuse qui sert d'atmosphère au soleil est une preuve directe du contraire; à moins qu'on ne veuille supposer que quelques-unes des lois qui régissent la matière en grand, et qui seraient dans un état de faible activité, ou entièrement latentes dans les planètes, ne règnent à la surface du soleil avec une tout autre énergie, pour assurer la conservation de l'organisation à la surface des différents corps qui gravitent autour du grand centre de notre système planétaire. Quoi qu'il en soit, il ne s'ensuit point de ce qu'un corps est entièrement gazeux ou composé de simples vapeurs, que ce corps soit nécessairement doué d'une chaleur intense. Une température très-élevée n'est pas plus essentielle à l'existence de cette singulière masse de vapeur, connue sous le nom de Comète d'Encke, qu'elle ne l'est à l'existence de notre atmosphère.

Que la matière des planètes ait, ou non, été originairement à une haute température, la forme de ces corps est telle que les molécules qui les composent doivent nécessairement avoir pu jadis se mouvoir librement les unes par rapport aux autres. Il est évident que ce n'est point là l'état de choses actuel à la surface de la terre, au moins dans cette partie de l'écorce minérale qui forme la surface émergée des continents, ou qui constitue le lit de l'océan. Il y a donc eu de grands changements dans les conditions de notre globe; car il n'est aucune répétition des effets dont nous sommes témoins aujourd'hui qui puisse nous faire concevoir la possibilité d'un libre mouvement des molécules de la matière terrestre les unes par rapport aux autres. Lorsque nous supposons que les eaux peuvent charrier des détritus d'un point à un autre de la surface terrestre, et qu'elles peuvent dégrader quelques parties saillantes du terrain émergé, nous admettons nécessairement la préexistence de la matière à l'état solide, et par conséquent l'impossibilité de la libre circulation des molécules de cette matière. L'eau ne peut entamer la matière solide qu'autant qu'elle coule à la surface des terres, qu'elle est lancée sous forme de vagues contre des falaises, ou bien encore qu'elle ronge les terres qui tendent à barrer son cours. Il est donc évident qu'il a dû exister de la matière solide avant qu'il ait pu se déposer des terrains d'origine mécanique, c'est-à-dire qu'il a dû exister, soit au-dessus du niveau des eaux, soit à une petite profondeur au-dessous, des terres qui auront pu fournir des dé-

tritus, par suite de l'action des eaux à leur surface. Nous connaissons des masses énormes de terrains de sédiment; de sorte que, même en tenant compte des roches siliceuses ou autres qui peuvent avoir été produites par voie chimique pendant le dépôt des terrains d'origine mécanique, il reste encore une masse immense de matière qui a dû exister à l'état solide antérieurement au dépôt de toute roche mécanique. Quoiqu'il soit donc vrai que, si on accordait un temps suffisant, l'action de l'eau sur les terres émergées tendrait à rendre à notre planète la forme sphéroïdale, il faut toujours admettre qu'il a existé, préalablement au transport des détritus par l'eau, des roches solides situées de manière à pouvoir être entamées par cette eau.

Il est fort difficile de concevoir que la planète terrestre ait pu tourner autour du soleil avec une autre forme que celle d'une sphère ou d'un sphéroïde. Admettre que la terre a été jadis un solide irrégulier, ayant une surface âpre et irrégulière, et que cette surface a été successivement corrodée par l'action de l'eau jusqu'à ce qu'elle eût pris la forme sphéroïdale, c'est tout au plus une hypothèse grossière, qui n'est nullement d'accord avec la simplicité qui distingue d'une manière si frappante toutes les œuvres de la création; et qui ne concorderait nullement avec les faits géologiques connus. On est donc autorisé à conclure que notre planète avait la forme sphérique ou sphéroïdale avant que sa surface solide eût été corrodée par l'eau, et qu'elle fût capable de supporter les détritus qui devaient s'y accumuler.

Si l'on examine la composition chimique de cette partie de l'écorce de la terre qui nous est accessible, on est frappé de l'énorme volume d'oxigène qui entre, soit dans la composition de l'air et de l'eau, soit dans celle des roches solides. L'oxigène constitue à peu près les vingt centièmes du volume de l'atmosphère; il forme la troisième partie, en volume, des gaz qui entrent dans la composition de l'eau; et il est contenu en quantité immense dans les diverses roches qui, prises en masse, ne sont guère qu'une masse de substances oxidées. On peut estimer que la silice constitue au moins les 45 centièmes de l'écorce minérale de notre globe. Or la silice est composée, suivant Berzelius, de 48,4 de silicium et 51,6 d'oxigène. Il s'ensuit que si l'oxigène contenu seulement dans la silice reprenait son état gazeux, le volume de l'atmosphère en serait immensément augmenté, et cette augmentation deviendrait énorme, si l'oxigène se dégageait de tous les autres minéraux qui composent l'écorce du globe, ainsi que des eaux qui existent à sa surface.

Les proportions de l'hydrogène, de l'azote, du carbone, du soufre

et du chlore sont loin d'être aussi considérables que celles de l'oxigène. L'hydrogène entre dans la composition de l'eau ; il se dégage, combiné de diverses manières, soit des volcans, que de certaines fissures de l'écorce terrestre, et dans les mines de houille. Il entre aussi dans la composition des divers combustibles, et dans les produits minéraux qui leur sont analogues ; mais c'est surtout d'après la quantité totale de l'eau qui forme la mer, les lacs et les rivières, de celle qui se trouve en suspension dans l'atmosphère ou disséminée mécaniquement dans les roches, qu'il faut calculer le volume de l'hydrogène. Puisque deux volumes d'hydrogène s'unissent dans la production de l'eau avec un volume d'oxigène, il s'ensuit qu'en ne prenant en considération que l'eau, le volume de l'hydrogène serait double de celui de l'oxigène. Il est difficile d'estimer la quantité extrêmement variable de la vapeur aqueuse qui est disséminée dans l'atmosphère ; dans cette circonstance l'eau n'est guère que dans un état de passage d'un point à un autre de la surface solide ou liquide inférieure, et à peine peut-on dire que les vapeurs aqueuses fassent partie de l'atmosphère, quoiqu'il y en existe constamment pour répondre au grand objet auquel est destinée l'enveloppe gazeuse de la planète terrestre.

L'eau domine tellement à la surface de notre planète, qu'on pourrait être tenté de considérer l'hydrogène comme relativement plus abondant qu'il ne l'est en réalité. Avant de calculer la quantité d'hydrogène qui existe dans la mer, il faut en déduire les sels qui y sont en solution ; ce n'est pas là une grande déduction, à la vérité, car ils ne montent qu'aux 3 ou 4 centièmes de la masse totale. Si on considère l'étendue de l'océan, et si on admet que sa profondeur moyenne soit de cinq mille mètres environ, il faut avouer qu'il existe là un volume immense d'hydrogène en combinaison. Il faut ajouter encore la grande quantité d'eau qui se trouve disséminée mécaniquement dans les roches. Sans doute qu'une grande partie de cette eau reçue de l'atmosphère pour jaillir ailleurs sous forme de sources, n'est contenue dans les roches que comme dans un réservoir momentané ; et certes on ne peut rien imaginer de plus simple ni de plus beau que cette circulation de l'eau destinée à l'entretien de la vie animale et végétale. Mais il existe en outre une quantité d'eau disséminée dans les roches à un état latent, pour ainsi dire, qui doit être fort considérable. Dans les roches qui servent comme de canaux souterrains aux sources, cette quantité d'eau disséminée doit être énorme ; car ces roches, qui font l'office de filtres, ne permettent le libre passage de l'eau que lorsqu'elles en sont complétement saturées.

La capillarité doit avoir une grande influence, soit pour disséminer mécaniquement l'eau dans les roches, soit pour l'y retenir lorsqu'elle est ainsi disséminée : cette action doit, jusqu'à un certain point, saturer les roches d'humidité, et elle contribue sans doute à donner aux sources un écoulement plus uniforme. La capillarité et la gravité font descendre l'eau beaucoup au-dessous des points desquels elle peut retourner à la surface sous forme de sources; de sources froides au moins, car il est des circonstances relatives aux eaux thermales qui porteraient à croire que l'eau qui en jaillit peut avoir circulé jusqu'à des profondeurs considérables. On peut admettre, sans crainte d'erreur, que la plupart des roches contiennent de l'humidité disséminée, car il en est bien peu qui, exposées à une chaleur convenable, ne donnent point de l'eau. Quelques serpentines en contiennent jusqu'à 12 ou 15 centièmes. L'eau entre en outre dans la composition de divers minéraux, dont elle paraît faire partie constituante; cependant la quantité totale de l'eau, provenant de cette dernière cause, n'est pas d'une grande importance relative.

Une quantité considérable d'hydrogène paraît être contenue dans la houille et dans le lignite. Suivant le docteur Thomson la houille compacte (*cannel coal*) en contient 21,56 pour cent. Le même auteur en porte la quantité contenue dans la houille collante (*caking coal*) de Newcastle à 4,18 seulement; de sorte que les proportions de l'hydrogène varient considérablement dans ce minéral. S'il est vrai que l'hydrogène carboné existe à un état de grande pression, et peut-être même à l'état liquide, dans les vésicules de la houille, le volume d'hydrogène qui entrerait dans cette combinaison doit être fort considérable. On ne doit pas négliger, dans ce calcul, l'hydrogène qui se dégage des volcans, soit à l'état de vapeur aqueuse, soit en combinaison avec d'autres substances gazeuses. Il paraîtrait cependant que le dégagement de l'hydrogène, soit des orifices volcaniques, soit des fissures des roches, à l'état de gaz inflammable[1], ne produit pas d'effet sensible sur l'atmosphère, de sorte que la quantité totale ne doit pas en être considérable, à moins qu'il ne s'unisse avec l'oxigène de l'atmosphère, par le contact des matières incandescentes des volcans, ou par l'effet de décharges électriques. Au total, on peut regarder l'hydrogène comme la seconde en importance des substances gazeuses qui entrent dans la composition de l'écorce du globe terrestre.

L'azote est surtout important comme partie constituante de l'atmosphère, dont il forme environ les 80 centièmes. Son existence

[1] Voyez le *Manuel géologique*, art. *Émanations gazeuses*.

dans les corps organisés, animaux et végétaux, peut être regardée comme secondaire; c'est-à-dire que l'azote existant dans ces corps serait dérivé de l'atmosphère. Il y a toute raison de croire en outre qu'il existe de l'azote dans les roches nombreuses qui contiennent des restes d'animaux qui y ont été enfouis vivants, ou du moins conservant encore leurs chairs. On a la preuve directe de l'existence de l'azote dans la houille par les analyses du docteur Thomson, qui a trouvé que ce gaz constitue les 15,96 centièmes de la houille collante (*caking coal*) de Newcastle; et on a quelques raisons de croire que ce n'est là qu'un *minimum* de la quantité d'azote contenue dans certaines houilles, à en juger par l'abondance des produits ammoniacaux qui résultent de la distillation de la houille dans les fabriques de gaz pour l'éclairage.

Le carbone, indépendamment de son existence dans les corps organisés vivants, est enfoui dans l'écorce terrestre en grande quantité, soit dans les végétaux fossiles que dans les couches calcaires. Il entre pour 75,28 dans la houille collante (*caking coal*) de Newcastle; pour 75 dans la houille esquilleuse (*splint coal*) de Glascow, et pour 64,72 dans la houille compacte (*cannel coal*). Cependant c'est dans les masses calcaires que se trouve probablement la plus grande quantité de carbone. L'acide carbonique étant composé de volumes égaux de vapeur de carbone et d'oxigène, le volume de la vapeur de carbone condensée dans les couches calcaires doit être immense. En adoptant 2,7 pour la pesanteur spécifique de la chaux carbonatée pure et estimant le poids de cent pouces cubes d'acide carbonique à 47^{grains},377, chaque yard cube de chaux carbonatée pure contiendrait 17092 pieds cubes de gaz acide carbonique.[1] Toutefois, comme le calcaire est rarement pur sur de grandes étendues, on ne commettrait pas de grande erreur en estimant la quantité moyenne de l'acide carbonique contenu dans chaque yard cube de calcaire à environ 16000 pieds cubes. Si donc tout le carbonate de chaux constituant les masses calcaires et celui qui est disséminé dans les différentes roches, venait à être décomposé, le volume d'acide carbonique qui s'en dégagerait serait immense.[2]

[1] Ce calcul est fondé sur la pesanteur spécifique d'un échantillon très-pur de marbre de Carrare, que M. Chantrey m'avait envoyé pour cet objet. J'ai trouvé que la pesanteur spécifique moyenne des échantillons du calcaire carbonifère de Bristol était = 2,75, c'est-à-dire supérieure à celle du marbre de Carrare de 0,05. (*Note de l'auteur.*)

[2] A l'exemple de M. Brochant de Villiers dans la traduction du *Manuel géologique*, j'ai le plus souvent préféré ne pas convertir les mesures anglaises en mesures françaises, afin de ne pas changer les chiffres donnés par l'auteur anglais. (*Note du traducteur.*)

Le carbone n'est pas en quantité fort considérable dans l'atmosphère, mais la végétation ne saurait avoir lieu sans qu'il y en existe. M. Théodore de Saussure a trouvé que 10000 parties d'air atmosphérique contiennent moyennement 4,9 d'acide carbonique. Un grand nombre de sources minérales, et de fissures de l'écorce du globe, versent constamment de l'acide carbonique dans l'atmosphère [1]. M. Bischoff croit qu'il se dégage annuellement 219,000,000 livres de ce gaz des environs du lac de Laach ; ce qui donnerait, en prenant $47^{grains},377$ pour le poids de cent pouces cubes d'acide carbonique, un volume d'environ 1,855,000,000 pieds cubes de gaz acide carbonique, se déversant annuellement dans l'atmosphère sur une surface de quelques milles carrés seulement. Ces dégagements si considérables d'acide carbonique sont à la vérité des accidents locaux, limités le plus souvent, soit aux régions volcaniques anciennes, soit à celles où il existe des volcans en activité ; cependant la quantité totale d'acide carbonique qui se déverse ainsi dans l'atmosphère, doit être fort importante, surtout en y comprenant le volume moyen de cet acide qui se dégage annuellement par les orifices volcaniques eux-mêmes.

Le soufre se trouve dans les roches en plus grande quantité qu'on ne pourrait d'abord le supposer. On est assez porté à rapporter aux produits volcaniques toute idée de l'existence du soufre dans les diverses masses de l'écorce terrestre ; cependant la quantité de cette substance qu'on trouve dans les terrains volcaniques, quoique fort considérable dans certaines localités, n'est au total que d'une faible importance. D'un autre coté le soufre est disséminé avec abondance dans plusieurs terrains ; à l'état de sulfure de fer il se trouve en grande quantité dans les terrains surtout que j'ai désignés ailleurs sous le nom de *terrains stratifiés supérieurs* ou *fossilifères* [2], et dans ceux qu'on appelle communément trappéens. Le sulfure de fer est très-dominant dans certaines argiles, et il y a minéralisé souvent un grand nombre de débris organiques. Les pyrites de fer sont nécessairement fort abondantes dans les schistes dont on extrait l'alun et qui en ont reçu le nom de schistes alumineux. Les minerais de cuivre et de plomb exploités dans les diverses parties du monde, sont presque tous à l'état de sulfures. Le soufre est très-répandu aussi à l'état de sulfate de chaux. Rien n'est plus commun que les cristaux de sélénite dans les couches d'argile, et les masses de gypse occupent quelquefois des étendues considérables. Le soufre ne se rencontre pas dans les roches seulement, il est disséminé aussi dans

[1] Voyez le *Manuel géologique*, art. *Émanations gazeuses*.

[2] *Ibid.*, art. *Classification des terrains*.

l'océan ; car le sulfate de soude est un des sels qui se rencontrent constamment dans toutes les analyses de l'eau de la mer. M. Eichwald annonce que le sulfate de magnésie est commun dans les eaux de la mer Caspienne. Le soufre est donc loin d'être rare à la surface de la terre.

L'importance du chlore provient surtout du rôle qu'il joue dans la composition de l'eau de la mer, le muriate de soude, le plus abondant des sels qui y sont contenus, constituant environ les deux centièmes et demi de cette eau. Les muriates de magnésie et de chaux, qui se trouvent aussi dans l'eau de la mer, quoique en moindre quantité, doivent pourtant contenir au total une quantité considérable de chlore. Les diverses masses de sel gemme renferment encore un volume important de ce gaz. Lorsqu'on réfléchit à la grande quantité de matière qui a été déposée dans la mer, soit par la voie chimique, soit surtout par la voie mécanique, on a lieu d'être surpris en ne trouvant point dans ces dépôts plus de traces de chlorides que les chimistes n'y en ont découvert jusqu'ici.

Les autres corps simples non métalliques, c'est-à-dire le phosphore, le bore, le sélénium, l'iode, le brôme et le phtore, n'ont point une importance géologique bien considérable. Le phosphore est connu surtout d'après le rôle qu'il joue dans la composition chimique des animaux. Les os de l'homme contiennent sur cent parties, d'après Berzelius, 51,04 de phosphate de chaux, et d'après M. Pepys, cette substance entrerait pour 78 centièmes dans l'émail des dents. Comme partie constituante des minéraux le phosphore est rare; mais il doit en exister une certaine quantité disséminée dans les divers terrains fossilifères ; car les ossements fossiles de toutes les époques contiennent du phosphore. Le docteur Turner a trouvé 50 pour cent de phosphate de chaux dans une côte et une dent d'ichthyosaure de Lyme Regis, et 29 pour cent dans une vertèbre du même individu. Il a trouvé aussi 244 millièmes de phosphate de chaux dans le palais d'un poisson du calcaire carbonifère de Bristol et 188 millièmes dans un palais provenant de la craie.

Le bore entre dans la composition de plusieurs minéraux, dont aucun à la vérité ne se trouve en grandes masses, si on en excepte la tourmaline, qui forme avec le quarz une roche qui se trouve en masses assez considérables dans certains pays, tels que le Cornouailles et le Devonshire, près du contact des granites avec les schistes. On a calculé que l'acide borique entrerait pour 1,79 dans cent parties d'une roche composée à parties égales de quarz et de tourmaline. L'acide borique se trouve aussi dans certaines sources thermales. Le sélénium se trouve en quantités trop peu considérables

pour avoir le moindre intérêt géologique. L'iode est probablement répandu dans des proportions excessivement petites, dans l'eau de la mer, d'où l'on croit que le tirent les éponges, les fucus et plusieurs autres corps organisés marins ; on l'a découvert aussi dans plusieurs sources minérales. Le brôme est probablement disséminé aussi dans toute l'eau de la mer ; le docteur Daubeny et quelques autres chimistes en ont reconnu dans plusieurs sources minérales : il a encore une autre analogie avec l'iode ; c'est qu'on le trouve dans les cendres de certaines plantes et animaux marins.

Le phtore a plus d'importance en géologie que les corps simples qui précèdent, puisqu'il entre dans la composition de certains minéraux qui font partie constituante de grandes masses de terrains. Il se trouve à l'état d'acide fluorique dans le mica et l'amphibole ; et ces deux minéraux, le premier surtout, entrent dans la composition de plusieurs roches qui occupent de grandes étendues à la surface du globe. Quinze analyses de micas de différents pays, par Klaproth, Vauquelin, Rose et Beudant ont donné une moyenne de 1,09 pour cent d'acide fluorique, et l'analyse de l'hornblende de Pargas par Bonsdorf (analyse qui peut être regardée comme la moyenne de celles de plusieurs amphiboles de différents pays) a donné 1,5 pour cent de la même substance. On a calculé que le gneiss avec mica contenait 0,36 pour cent d'acide fluorique ; le micaschiste, 0,54 ; l'amphibolite et le grünstein, 0,75 ; le granite avec mica, 0,18 à 0,21 ; le granite (syénite) formé de quarz, feldspath et amphibole, 0,5 ; le granite composé de quarz, feldspath, mica et amphibole, 0,65 ; le grünstein porphyroïde, 0,5. L'acide fluorique entre probablement aussi comme partie constituante dans diverses roches trappéennes, difficiles à classer, mais que l'on a toute raison de croire amphiboliques. Si donc nous étions certains que tous les micas contiennent de l'acide fluorique, nous pourrions en conclure que le phtore n'est pas sans une certaine importance dans la composition de l'écorce minérale du globe terrestre ; mais il ne faut point oublier que la lithine remplace l'acide fluorique dans certains micas. On ne sait pas exactement jusqu'à quel point les micas à lithine sont répandus ; on n'en connaît même qu'une petite quantité jusqu'ici ; mais il est possible qu'un examen plus approfondi en fasse connaître davantage. Le spath fluor (apatite) est sans doute le minéral qui contient la plus grande proportion de phtore, mais considéré géologiquement il n'a que peu d'importance.

De toutes les bases métalliques des alcalis et des terres, qu'on trouve à la surface de notre planète, le silicium est de beaucoup la plus importante, puisque la silice entre en si grande quantité dans

la composition des roches d'origine soit chimique soit mécanique. On a calculé que la silice est contenue dans les roches ci-dessous, dans les proportions suivantes :

Le Gneiss contient pour cent parties	70,06 à 71,86	de silice.
Micaschiste	61,94 à 73,07	
Amphibolite	54,86	
Schiste chloriteux	63,71	
Schiste talqueux	78,15	
Feldspath compacte	51,00 à 60,00	
Granite	63,96 à 74,84	
Roche de tourmaline	68,01	
Grünstein	54,86	
Hypersthénite	59,14 à 61,85	
Basalte	44,50 à 59,50	
Pechstein	72,80 à 73,00	
Serpentine	42,00 à 43,07	
Euphotide	58,42 à 60,55	

La silice entrerait seule dans la composition du quarzite pur. Lorsque cette roche résulte de parties égales de quarz et de feldspath, la silice formerait les 82 centièmes de la masse totale. La silice abonde aussi dans des roches d'origine évidemment mécanique. La plus grande partie des masses immenses de conglomérats, grès et schistes, comprises dans le groupe de la grauwacke, est composée de silice. Il en est de même du vieux grès rouge (si on le sépare de la grauwacke), du grès houiller, des différentes roches comprises sous le nom de nouveau grès rouge, des couches nombreuses de grès et d'argile du groupe oolitique, des divers sables et grès du terrain wealdien et du groupe crétacé, et de plusieurs roches du groupe supracrétacé. La silice est souvent disséminée dans les couches calcaires elles-mêmes, et quelquefois dans des proportions considérables. Ainsi les silex de la craie forment quelquefois près d'un tiers de la masse totale du terrain. Plusieurs autres calcaires contiennent de la silice disséminée, et les chaufourniers l'apprennent à leurs dépens quelquefois, la silice et la chaux se combinant pendant la cuisson pour former du silicate de chaux.

L'aluminium paraît être, après le silicium, la plus abondante des bases métalliques des terres. Sa quantité totale est loin d'être aussi grande que celle du silicium; mais il est tout aussi généralement répandu. Les calcaires eux-mêmes sont rarement assez purs pour n'en point contenir du tout; il est en quantité considérable dans plusieurs, qui sont recherchés en conséquence pour les travaux

hydrauliques. On a calculé que l'alumine existe dans les roches ci-dessous dans les proportions suivantes :

Le Gneiss contient pour cent parties		15,20 d'alumine.
Micaschiste	13,08 à	15,45
Amphibolite		15,56
Schiste chloriteux		8,95
Schiste talqueux		13,20
Feldspath compacte	15,00 à	30,00
Granite	10,37 à	14,32
Roche de tourmaline		17,91
Grünstein		15,56
Hypersthénite		10,59
Basalte	11,50 à	16,75
Pechstein	10,84 à	11,50
Euphotide	13,14 à	13,86

Il y a bien peu de roches d'origine mécanique qui ne contiennent point d'alumine. Cette terre constitue, comme on le sait, la base des diverses argiles, et on doit la regarder comme un des éléments des roches les plus importants par leur abondance.

Le potassium et le sodium sont ensuite les métaux les plus importants de leur classe. La potasse est plus abondante que la soude dans les roches; dans les végétaux la potasse n'existe qu'autant qu'elle est dérivée de la décomposition des roches qui la contenaient originairement. Elle est très-répandue, mais sa quantité totale est de beaucoup inférieure à celle du silicium et de l'aluminium. Toutes ou presque toutes les roches des terrains stratifiés inférieurs contiennent de la potasse, et on peut admettre, comme fort près de la vérité, que cette substance forme les cinq ou six centièmes de la masse totale de ces roches. Elle abonde plus ou moins, suivant les circonstances, dans presque toutes les roches d'origine évidemment sédimentaire, et dans le fait on doit considérer la potasse comme se trouvant dans la plus grande partie des masses minérales. On peut compter qu'elle constitue les six ou sept centièmes de la masse des granites, et environ les sept centièmes des grünsteins et des roches analogues.

L'importance principale du sodium est due à sa présence dans certains feldspaths, qui en ont reçu le nom de feldspath à base de soude (albite), et qui font partie essentielle de certains gneiss et granites. La soude se rencontre en outre dans la roche de tourmaline, dans quelques hypersthénites et eurites, dans les trachytes, les pechsteins, les basaltes, et dans certaines euphotides. M. Beudant

a trouvé que la soude entrait pour 69 millièmes dans un basalte de Beaulieu. On ne peut donc révoquer en doute que la soude n'existe dans les roches en quantité considérable, en y comprenant surtout les masses de sel gemme découvertes dans divers pays; cependant la soude est beaucoup plus répandue encore dans l'océan, puisqu'elle y constitue la base du plus abondant des sels dissous dans ses eaux.

Le magnésium et le calcium viennent ensuite dans l'ordre d'importance des corps qui entrent dans la composition de l'écorce du globe. Il existe de la magnésie dans toutes les roches des terrains stratifiés inférieurs, à l'exception des quarzites purs (sans mica) et de quelques eurites ou feldspaths compactes; elle est commune aussi dans les roches sédimentaires, dans celles surtout où le mica joue un rôle considérable. Il est bien peu de calcaires qui ne contiennent de la magnésie, et elle abonde quelquefois au point que la roche en reçoit le nom de *calcaire magnésien*. Elle fait partie essentielle de la dolomie proprement dite, dans laquelle le carbonate de magnésie entre pour plus des 40 centièmes. La magnésie est disséminée en outre dans les eaux de l'océan, dont le muriate de magnésie forme les quatre ou cinq millièmes.

Le calcium paraît avoir une plus grande importance relative dans les terrains stratifiés supérieurs que dans ceux qui sont plus anciens; car, quoique cette substance se trouve constamment dans les gneiss, les micaschistes, les schistes chloriteux, talqueux et argileux, les eurites et les amphibolites, elle y est toujours en très-petites quantités; si ce n'est dans l'amphibolite, dans laquelle le calcium entre quelquefois pour près de 73 millièmes, tandis qu'il ne forme guère que les 5 millièmes et demi de la masse totale des autres roches précédentes. Nous avons négligé, dans ce calcul, de tenir compte des roches calcaires et dolomitiques associées aux terrains stratifiés inférieurs; car ces roches y sont peu abondantes, et elles n'ajouteraient que peu de chose à la quantité totale de la chaux; mais elles ont une certaine importance, en ce que la chaux y existe à l'état de carbonate, tandis qu'elle est à l'état de silicate dans les autres roches de même âge. On trouve de la chaux dans tous les granites, mais en très-petite quantité, si ce n'est dans le granite avec amphibole. On en a découvert aussi dans le grünstein et toutes les roches trappéennes, dans l'hypersthénite, le basalte, le pechstein, la serpentine, l'euphotide et le trachyte. La fusibilité relative des roches ignées dépend de la quantité de silicate de chaux qu'elles renferment, et, en conséquence, les roches qui contiennent une grande proportion d'amphibole ou de pyroxène augite sont plutôt attaquées par la chaleur que les autres. La chaux devient plus abon-

dante dans les terrains fossilifères (particulièrement vers le centre et la partie supérieure de la série), dans lesquels elle se trouve à l'état de carbonate; elle se trouve aussi, quoique en petite quantité, disséminée dans les eaux de la mer. En résultat on peut dire que le calcium est considérablement répandu sur les continents et dans les eaux; il abonde surtout dans la partie moyenne et supérieure des terrains fossilifères, tandis qu'il est dispersé en très-petite quantité dans les terrains plus anciens et dans les eaux de l'océan.

Les autres bases des alcalis ou des terres, le barium, le strontium, le glucinium, l'yttrium, le thorium, le zirconium et le lithium se trouvent en quantités trop peu considérables pour avoir aucune importance géologique, à l'exception peut-être du lithium, qui pourrait bien se rencontrer dans plus de micas qu'on ne le suppose communément.

De tous les métaux dont les oxides ne sont ni des alcalis ni des terres, le fer et le manganèse sont les plus importants en géologie. En prenant la moyenne de trente roches différentes, et négligeant les minerais de fer proprement dits, de toute espèce, on trouve que le fer constitue à l'état d'oxide les cinq centièmes et demi des terrains stratifiés inférieurs. Le micaschiste avec grenats contient pour cent parties 14,72 d'oxide de fer, le schiste chloriteux, 15,31, l'hypersthénite, 12,62, et le basalte, 20,00 environ. L'oxide de fer constitue les 2 ou 3 centièmes de la masse des granites et des gneiss, et les 3 ou 4 centièmes de l'ensemble des grünsteins et des roches trappéennes. Si l'on considère en outre la quantité de fer qui existe à l'état soit d'oxide que de carbonate, de carbure, de silicate ou de sulfure, comprenant ainsi tous les minerais de fer d'une certaine importance, et si on a égard en même temps à la proportion relative des diverses roches entre elles, on trouvera qu'on ne doit pas beaucoup se tromper en admettant que le fer constitue à peu près les deux centièmes de l'ensemble de l'écorce minérale de notre globe. Le manganèse est presque tout aussi généralement répandu dans les roches que le fer, quoiqu'il s'y trouve dans des proportions beaucoup plus petites. Il existe à peine une roche qui ne contienne du fer, et il y en a bien peu qui n'offrent quelque trace de manganèse; cependant, à l'exception des localités dans lesquelles on en exploite les minerais, celui-ci n'existe qu'en quantités minimes. C'est dans le micaschiste avec grenats que le manganèse se trouve en proportions le plus considérables; on a calculé que l'oxide de manganèse y forme les 123 dix-millièmes de la roche. En prenant l'ensemble des roches, on peut compter que le manganèse ne forme pas moins que les 3 ou 4 dix-millièmes de leur masse.

Les autres métaux, tels que l'étain, le cuivre, le plomb, le zinc, l'arsenic, l'argent, l'or, etc., considérés relativement à l'ensemble des roches, n'ont que peu d'importance géologique. Ils se trouvent principalement en filons, et quoique certes leur présence et leur manière générale d'être dans ces filons soient des objets du plus grand intérêt scientifique, la quantité de ces substances relativement à la masse totale de l'écorce terrestre est absolument insignifiante. Le chrome est si fréquent dans les roches serpentineuses, qu'il peut y avoir quelque connexité entre ces deux substances ; peut-être la couleur verte des serpentines provient-elle de celle de l'oxide de chrome. Le titane est peut-être disséminé aussi plus généralement qu'on ne le pense, car il accompagne ordinairement les minerais de fer. La manière dont on reconnaît sa présence dans quelques-uns de ces minerais, prouve évidemment que des métaux peuvent être disséminés dans certains minerais et pourtant échapper aux analyses, à moins qu'on ne soumette à des actions chimiques de grandes masses des substances qui contiennent ces métaux.[1]

Les principales substances qui entrent dans la composition chimique de la surface de notre planète peuvent être rangées dans l'ordre suivant, d'après leur degré d'importance.

Corps simples non métalliques.

1. Oxigène.	3. Azote.	5. Soufre.	7. Phtore.
2. Hydrogène.	4. Carbone.	6. Chlore.	8. Phosphore.

Bases métalliques des alcalis et des terres.

1. Silicium.	3. Potassium.	5. Magnésium.
2. Aluminium.	4. Sodium.	6. Calcium.

Métaux dont les oxides ne sont ni des terres ni des alcalis.

1. Fer.	2. Manganèse.

Il paraîtrait donc que seize des substances, que l'on considère communément comme des corps simples, constituent par leurs diverses combinaisons, sinon la totalité, du moins la quantité de beaucoup la plus grande, de la matière gazeuse, liquide ou solide, organique ou inorganique dont nous connaissons l'existence à la surface de la terre.

[1] On reconnaît de très-petits cristaux de titane dans les scories des grandes usines à fer, particulièrement dans celles de Merthyr Tydvil.

CHAPITRE II.

C'est une idée si grande et si simple à la fois que celle de la condensation d'une matière gazeuse qui aurait formé les sphères ou sphéroïdes qui existent dans notre système solaire, et qui peuplent en outre par myriades l'immensité de l'univers, que l'on est irrésistiblement entraîné à adopter une hypothèse qui s'accorde si bien avec l'unité de plan évidente dans toute la création. L'existence de cette masse remarquable de vapeur qui tourne autour du soleil dans une période de trois ans et un tiers environ, et qui est connue sous le nom de comète d'Encke, nous prouve qu'une matière gazeuse d'une ténuité extraordinaire peut circuler autour du centre de notre système planétaire dans une période donnée, et suivant une orbite donnée, cette vapeur n'étant contenue que par un milieu résistant d'une ténuité plus grande encore. Il n'y a donc point de raison *à priori* pour que la matière composant notre globe n'aie pu exister jadis à l'état gazeux, et circuler à cet état, autour du soleil. On peut même aller plus loin et admettre avec Laplace que notre système solaire tout entier résulte de la condensation autour de divers centres déterminés de cette matière qui constitue aujourd'hui le soleil, les planètes et leurs satellites, matière qui avant cette condensation tournait autour d'un axe général, d'où il est résulté que toutes les planètes se meuvent aujourd'hui dans une même direction. Les découvertes récentes concernant les nébuleuses, découvertes que l'on doit surtout à Sir J. Herschel [1], ajoutent un tel poids à cette théorie que l'on peut difficilement se refuser à admettre que ces corps sont des masses énormes d'une matière qui se trouve aujourd'hui dans l'acte même de sa condensation. Si toute la matière qui existe dans le soleil, les planètes et leurs satellites, se dilatait de manière à remplir l'espace compris dans l'orbite d'Uranus et même au delà, la masse entière, ainsi dilatée, ne serait encore qu'un point dans l'immensité de l'univers.

En admettant l'existence à l'état gazeux de la matière qui compose notre globe, on aurait dans le calorique une force qui s'opposerait à la condensation de cette matière, en résistant non-seulement à l'action de la pesanteur, mais encore à celle des affinités chimiques. Or, s'il est probable, ainsi que nous l'avons remarqué plus haut, que la chaleur s'oppose jusqu'à un certain point à l'action de la gravitation dans le soleil, dans Jupiter et dans Saturne, il n'y a

[1] *Phil. Trans.* 1833. — *Treatise on Astronomy.*

rien que de logique à admettre aussi que la chaleur a résisté jadis, et peut continuer à résister encore avec moins d'énergie, dans notre planète à l'action de la gravitation. Nous serons amenés plus tard, par d'autres arguments, à admettre cette dernière conclusion comme fort probable, et dès lors il est tout aussi probable que cette résistance à la contraction de la matière se soit manifestée jadis avec une plus grande énergie.

Il serait excessivement difficile d'apprécier les effets probables qui résulteraient d'un mélange de toute la matière terrestre à l'état de gaz ou de vapeur, d'autant plus que nous ne connaissons point la matière qui se trouve au-dessous de l'écorce de notre globe, et si même nous la connaissions, il faudrait se livrer à des calculs tellement compliqués, qu'il est extrêmement douteux que l'on pût, dans l'état actuel de nos connaissances, arriver à un résultat satisfaisant. Examinons cependant, pour un instant, quels seraient les effets de la diminution de la température sur les principales substances qui constituent les parties solides, liquides et gazeuses de l'écorce du globe, et voyons jusqu'à quel point ces résultats seraient d'accord avec la distribution et la manière d'être actuelle de la matière de l'écorce terrestre.

Aussi longtemps que la matière existerait à l'état de gaz ou de vapeur, il y a toute raison de croire que les différentes substances gazeuses pourraient se pénétrer les unes les autres; les diverses expériences sur les gaz paraissent du moins conduire à cette conclusion. Supposant donc, pour un instant, que la chaleur fût suffisamment intense, les corps simples non métalliques et les vapeurs des différents métaux tendraient à se mêler les uns aux autres. Cet état de choses ne pourrait continuer à la partie extérieure de la sphère ou du sphéroïde que nous supposons formé de toute la matière de l'écorce terrestre à l'état gazeux; car, par suite de plusieurs causes évidentes, la température irait en diminuant à la surface, et un grand nombre de métaux cesserait bientôt de pouvoir exister à l'état de vapeurs, faute d'une chaleur suffisamment intense. Ces vapeurs tendraient à se condenser et à se séparer de la masse des corps simples non métalliques, abstraction faite pour le moment de toute affinité chimique qui pourrait exister entre les métaux et quelques-uns de ces corps. La condensation des molécules des vapeurs métalliques rendrait impossible leur suspension parmi les molécules de la matière gazeuse, et l'action de la pesanteur les porterait vers le centre de la sphère; mais comme elles ne pourraient descendre au-dessous du point où la chaleur les vaporiserait de nouveau, on finirait par avoir une sphère ou un sphéroïde intérieur de vapeurs métalliques

tendant à se condenser, surmonté par une masse de corps simples non métalliques, qui pourraient facilement exister à une température de beaucoup inférieure, quelques-uns même aux limites extérieures de la sphère ou du sphéroïde entier[1]. Il ne faut point négliger ici une action d'un autre ordre. Nous avons admis que toute la matière terrestre était à l'état gazeux par suite d'une chaleur assez puissante pour contrebalancer jusqu'à un certain point l'action de la pesanteur. Chacune de ces deux forces opposées devait agir avec une énergie immense, puisque le volume des fluides gazeux est en raison inverse de la pression à laquelle ils sont exposés, et que la pression sur les parties intérieures de la sphère ou du sphéroïde gazeux devait être immense; il s'ensuit que lorsque, grâce au rayonnement dans les espaces planétaires, la pesanteur deviendrait plus puissante que la chaleur, son action suffirait seule à former des liquides et des solides; et des molécules de matière qui à la surface conserveraient la forme gazeuse, pourraient, à une température égale et même supérieure, être comprimées par la pesanteur de manière à prendre dans l'intérieur la forme liquide et même solide.

Quand on songe que l'affinité du chlore pour les métaux est plus grande que celle de l'oxigène, on a quelque peine à comprendre comment, lorsque la diminution de température a permis aux métaux de devenir liquides ou solides, ils ont pu, indépendamment de toute combinaison formée lorsqu'ils étaient à l'état de vapeurs, s'unir à l'oxigène (ainsi qu'ils l'ont fait d'après ce qui s'observe dans les roches des terrains les plus anciens) plutôt qu'avec le chlore, puisque ces deux corps étaient également en présence des métaux. Nous observerons d'abord que, si tout l'oxigène et le chlore qui entrent dans la composition de l'écorce du globe passaient à l'état gazeux, le volume du premier serait de beaucoup supérieur à celui du second.

Le chlore a une affinité si puissante pour l'hydrogène, qu'il décompose l'eau, par la seule action de la lumière, pour se combiner avec ce gaz; cependant ces deux corps peuvent rester ensemble à l'état gazeux, pendant un temps indéterminé, pourvu qu'ils soient dans l'obscurité et à la température ordinaire. Dans notre hypothèse, ces corps ne seraient dans aucune de ces deux conditions; il est vrai qu'ils ne seraient pas seuls en présence l'un de l'autre; ils seraient mêlés, au contraire, à d'autres corps simples non métalliques, et aux vapeurs des métaux. Or, si le chlore par suite de

[1] On ne veut pas conclure de là qu'il ne pourrait exister de corps simples non métalliques au-dessous de la sphère ou du sphéroïde intérieur, ou mêlés aux métaux de ce sphéroïde; mais seulement qu'une masse de ces corps simples s'élèverait à l'extérieur des métaux condensés.

sa grande affinité pour les métaux venait à s'unir avec leurs vapeurs, cette union cesserait probablement après la formation de l'eau ou des vapeurs aqueuses. Car une grande partie des métaux, tels que le silicium, l'aluminium, le potassium, le sodium, le magnésium et le calcium, ont une telle affinité pour l'oxigène que l'eau ou la vapeur aqueuse en serait probablement décomposée, l'hydrogène s'unissant au chlore et l'oxigène au métal. Ainsi disparaîtrait une grande partie des chlorures, et les oxides deviendraient de plus en plus abondants indépendamment de leur formation directe par l'union de l'oxigène avec les bases métalliques des terres et des alcalis. L'union du chlore et de l'hydrogène donnerait lieu à du gaz acide muriatique. Cette combinaison une fois formée, la supériorité du chlore sur l'oxigène dans son affinité pour les métaux serait détruite; l'oxigène et les métaux seraient libres de s'unir, comme ils l'ont fait dans la production des grandes masses des roches qui ne sont guère, ainsi que nous l'avons dit, que des oxides métalliques.

Le manque de chlorides dans les grandes masses de roches (car le sel gemme qui s'y rencontre doit être regardé comme y étant produit par des actions secondaires) est un fait remarquable qui concorde avec l'hypothèse ci-dessus.

L'hydrogène s'unit à un petit nombre de métaux, et parmi ceux-ci le potassium est le seul qui ait quelque importance relativement au sujet qui nous occupe. Mais l'hydrogène a une forte affinité pour l'oxigène. Quoique, à la température ordinaire, et mêlés dans les proportions convenables de deux à un, ces deux corps ne se combinent que par l'action de l'étincelle électrique, de la flamme, ou d'un corps chauffé au rouge blanc; si on les expose à une température supérieure à celle du point de bouillonnement du mercure, et au-dessous du point où le verre commence à paraître lumineux dans l'obscurité, l'hydrogène et l'oxigène se combinent lentement et sans explosion. L'hydrogène s'unit de même peu à peu avec l'oxigène, par une succession d'étincelles électriques, lorsqu'il est mélangé avec trop d'air pour qu'il y ait explosion; et le platine en éponge donne lieu à une combinaison lente des deux gaz, lors même que le volume de l'oxigène est cent fois supérieur à celui des deux autres substances réunies[1]. La faculté qu'ont l'oxigène et l'hydrogène de se combiner tranquillement sans la nécessité d'une explosion, même lorsqu'ils sont mélangés dans d'autres proportions que celles nécessaires pour la formation de l'eau, est un fait important dans nos recherches actuelles; car cette faculté paraît indiquer la possibilité de la production lente de l'eau, lorsqu'une grande quan-

[1] *Turner's Elements of Chemistry*, 4th edit., p. 219.

tité d'oxigène, une moindre proportion d'hydrogène et une quantité d'azote plus petite encore se trouvaient mêlées ensemble, avec de très-petites quantités de quelques autres substances; c'est-à-dire dans des conditions telles que celles qui pouvaient exister à la partie extérieure de la sphère ou du sphéroïde gazeux qui nous occupe.

S'il y avait, dans ces circonstances, production d'eau ou de vapeur aqueuse, soit que la combinaison se fît instantanément avec explosion, ou lentement, par des moyens analogues à ceux indiqués ci-dessus, le gaz acide muriatique devait promptement s'en emparer, d'après l'affinité énergique bien connue que cet acide a pour l'eau; affinité si puissante que lorsque ce gaz s'échappe dans l'air il donne lieu à une nuée blanche épaisse par sa combinaison immédiate avec la vapeur aqueuse de l'atmosphère.

Un des faits les plus remarquables dans la distribution actuelle des principales substances qui constituent la surface de la terre, c'est que, le sodium existant à la fois dans les roches et dans l'eau, il se trouve principalement dans celle-ci à l'état de chlorure, tandis que dans les roches il est uni à l'oxigène. Il est de fait que la presque-totalité du chlore de l'écorce terrestre est combinée avec le sodium et dissoute dans les eaux de la mer; car le sel gemme est une production secondaire, qui ne se trouve point dans les terrains stratifiés les plus anciens. Le chlorure de sodium n'est pas rare non plus dans les sources minérales. Quant au chlore des végétaux marins, il est dérivé évidemment de l'eau de la mer, et il ne peut entrer dans nos calculs actuels. Il paraît donc probable qu'il y a eu jadis un état du globe dans lequel, le chlore se combinant avec l'hydrogène et le sodium, et l'hydrogène s'unissant à l'oxigène, ces quatre éléments posèrent les bases de l'océan actuel (faisant abstraction pour le moment des muriates de magnésie et de chaux, qui avec le sulfate de soude existent aussi, mais en moindres proportions, dans les eaux de la mer). Quelque hypothétique que puisse être l'état gazeux ancien de notre planète, il est à remarquer que cet état n'oppose aucun obstacle sérieux à la production d'un océan dans lequel serait combinée la plus grande proportion de l'hydrogène et du chlore; car même en supposant que, par suite de l'intensité de la chaleur, cette combinaison ne fût point d'abord absolument liquide, elle le deviendrait nécessairement lorsque le rayonnement de la chaleur serait assez avancé pour permettre l'existence d'une surface solide refroidie au-dessous des gaz ainsi combinés. Par cette hypothèse on dispose à la fois du chlore et de l'hydrogène; car ce qui existe dans les roches de ces deux gaz, n'y est que dans une condition tout à fait secondaire.

L'histoire de l'azote ne présente aucune difficulté. Ce gaz paraît destiné principalement à corriger un excès d'oxigène dans l'atmosphère, et à entrer dans la composition de quelques-unes des substances organiques qui existent dans cette atmosphère. C'est probablement d'après ce motif que l'azote ne fait point partie de la masse des roches, excepté là où elles renferment des débris organiques. Dès l'origine, l'azote, pris en grand, ne se combina d'aucune sorte ni avec les liquides ni avec les solides, jusqu'à ce que l'atmosphère devint propre enfin à l'existence de l'organisation animale et végétale. Lorsque des restes de cette organisation furent enfouis dans certaines roches dont ils devinrent partie, l'azote se trouva entrer aussi dans la composition des couches sédimentaires. On ne le rencontre point dans les terrains plus anciens non fossilifères.

Le carbone est si rare dans les terrains anciens, que, sous quelles conditions que ces terrains aient été produits, il a dû exister quelque obstacle à son union avec la chaux, la magnésie, la potasse, la soude et les autres substances contenues dans les roches de ces terrains, lors même qu'il aurait été combiné avec l'oxigène, sous la forme d'acide carbonique. Dans l'état de choses que nous avons supposé, le carbone aurait dû très-probablement se combiner avec l'oxigène pour produire cet acide. Or l'absence, ou plutôt la rareté relative des carbonates dans les couches anciennes, et l'abondance des silicates dans ces mêmes terrains, sembleraient indiquer l'existence d'une chaleur considérable au moment de la première formation des minéraux qui composent les roches de ces terrains; car, quoique les carbonates puissent être aisément liquéfiés sous une grande pression, l'état des choses que nous avons admis ne pouvait permettre l'existence d'une force capable de produire une telle pression, dans l'origine des choses du moins et à la partie extérieure de la sphère gazeuse. Si on suppose une combinaison du carbone et de l'oxigène dans les proportions convenables pour former de l'acide carbonique, cet acide gazeux aurait pénétré facilement les autres gaz et vapeurs, et leur mélange aurait tendu à surnager dans les parties plus élevées ou extérieures de la sphère ou du sphéroïde, tandis que la consolidation des matières avait lieu dans les parties intérieures, par suite du rayonnement de la chaleur; de sorte que l'acide carbonique aurait pu constituer accidentellement une partie considérable d'une atmosphère composée principalement d'azote et d'oxigène. Comme il n'est point dans nos intentions de déguiser les difficultés de notre hypothèse, nous avouerons que la supposition qui limite, dans l'origine des choses, l'existence de la plus grande quantité de l'acide carbonique à l'enveloppe gazeuse de notre pla-

nète, ne s'accorde pas trop bien avec la production des calcaires ni avec les dégagements actuels de ce gaz par les orifices volcaniques, par les fissures de l'écorce terrestre, et dans différentes sources minérales. D'un autre côté notre hypothèse se trouve d'accord avec l'opinion de M. Adolphe Brongniart, qui, pour rendre compte de la végétation primitive de notre planète, admet que l'atmosphère contenait jadis plus d'acide carbonique qu'elle n'en contient actuellement. Il est fort probable que la chose était réellement ainsi, car cette supposition est confirmée par la quantité de carbone qui se trouve fixée dans la houille et les végétaux fossiles, carbone que l'on suppose, par analogie, avoir été tiré primitivement de l'atmosphère. Il n'en est cependant pas moins nécessaire, pour rendre compte de plusieurs des phénomènes géologiques, d'admettre la présence du carbone aussi bien au-dessous de l'écorce terrestre qu'à sa surface.

Le soufre est tellement volatil que, si l'on a égard à la seule température, il a dû se maintenir à l'état de vapeur, même après un rayonnement considérable de la chaleur terrestre; mais il est d'autres circonstances dont il faut tenir compte. La vapeur de soufre devait tendre à s'unir à l'oxigène, et il en devait résulter de l'acide sulfureux qui à son tour, se trouvant en présence de vapeurs aqueuses, passait à l'état d'acide sulfurique. Les sulfates en général ne sont point en grande abondance dans les terrains de l'écorce du globe; on n'en connaît point dans les terrains stratifiés inférieurs; le sulfate de chaux n'est cependant point rare parmi les couches fossilifères. La vapeur de soufre devait tendre en outre à s'unir avec les vapeurs métalliques pour produire des sulfures; mais tant que la chaleur était très-élevée, et qu'il y avait de l'oxigène libre, cette combinaison devait être très-difficile, car dans ces conditions tous les sulfures tendent à se décomposer, quelque réfractaires que puissent être sous ce rapport quelques-uns d'entre eux, lorsqu'on les expose à la simple chaleur. Les principaux sulfures que l'on rencontre dans les terrains anciens sont des pyrites de fer.

A l'égard du phtore et du phosphore, le premier de ces corps a une affinité si énergique pour l'hydrogène que nous ne pouvons guère admettre son existence sans qu'il se combinât avec l'hydrogène dès qu'il se trouvait en contact avec lui. Le rôle du phosphore comme partie constituante de l'écorce terrestre est si peu important, excepté dans la composition de quelques-uns des restes organiques enfouis dans les couches des divers terrains sédimentaires, qu'on pourrait négliger ce corps, dans des vues générales telles que les présentes, s'il ne constituait une partie si importante des os des animaux; il en devient intéressant de rechercher sous quelle forme

il pouvait exister avant l'époque à laquelle il devint nécessaire à l'existence de l'organisation. C'est là une chose qui n'est pas facile à décider, et nous n'en faisons mention que pour encourager les recherches à ce sujet.

S'il a pu réellement se faire que les vapeurs métalliques condensées par la diminution de la température, se soient arrêtées à une certaine hauteur au-dessus du centre de la sphère ou du sphéroïde gazeux, et qu'il en soit résulté une sorte de croûte sphérique ou sphéroïdale, l'oxigène aura pu se combiner plus facilement avec les métaux à la surface supérieure de cette croûte qu'à l'inférieure, d'après la différence de température qui aura existé entre ces deux points. Par là même cause les oxides auront dû se consolider plus vite à la partie supérieure, et y former comme un enduit qui préserverait le restant des métaux de l'action de l'oxigène ; ce gaz, d'après la haute température de l'intérieur, serait d'ailleurs beaucoup plus dense au-dessus de la croûte que dans son intérieur, où l'oxigène devrait être d'une ténuité extraordinaire, en admettant même que les vapeurs métalliques se mélassent aux autres substances à la manière des gaz. Il aura donc pu arriver, par suite du rayonnement de la chaleur, qu'il se soit formé une croûte solide oxidée, surmontée par une enveloppe gazeuse composée en partie d'oxigène, et recouvrant un intérieur fortement chauffé, composé de substances métalliques à peine mélangées avec l'oxigène et les autres corps simples non métalliques. Notre hypothèse amènerait donc un état de choses qui se trouverait être d'accord à la fois avec la théorie de la chaleur centrale, et avec celle de l'existence au-dessous de l'écorce du globe des bases métalliques de certaines substances dont l'oxidation peut donner lieu aujourd'hui à plusieurs des phénomènes géologiques observés.

Au reste c'est uniquement dans le but d'encourager des recherches ultérieures que nous nous sommes laissé aller à suivre ainsi avec quelque détail l'hypothèse du refroidissement d'une sphère ou d'un sphéroïde, composé des matières terrestres rendues gazeuses par une chaleur intense. On ne saurait discuter à fond un pareil sujet sans entrer dans des considérations très-compliquées, relatives à l'action, sous les conditions données, de la pesanteur, de la chaleur, de l'électricité et des affinités chimiques ; mais si l'on pouvait arriver finalement à déduire de ces considérations quelque chose d'approchant de l'état actuel de la surface terrestre, on aurait fait un pas très-important vers la connaissance des théories de la géologie.

[illegible] figure de la terre paraît démontrer que les molécules de la [illegible] se mouvoir librement les unes par

rapport aux autres; c'est là un point de la première importance en géologie, quoiqu'on cherche à le négliger dans certaines théories, que la figure sphéroïdale de la terre rend insoutenables: mais il ne s'ensuit nullement que toute la matière terrestre ait dû être primitivement à l'état gazeux. Une enveloppe gazeuse et un noyau métallique liquide pourraient rendre compte également des faits observés, surtout si l'on suppose une chaleur intérieure assez intense pour prévenir l'oxidation du noyau métallique ailleurs qu'à sa surface. Une croûte oxidée empêcherait les progrès de l'oxidation autrement que par les fentes et crevasses de cette croûte, et on pourrait expliquer ainsi une quantité de phénomènes géologiques. On arriverait encore là à un état de choses qui serait d'accord avec les deux théories de la chaleur centrale et de l'action chimique de l'oxigène sur les bases métalliques des terres et des alcalis. La densité moyenne de la terre n'étant que double environ de celle de l'écorce oxidée, il ne paraît pas qu'une si petite densité soit compatible avec l'existence d'un noyau composé des mêmes espèces d'oxides condensées vers le centre par la pression résultant de la pesanteur. On ne peut se rendre compte de la densité de la terre, en supposant que l'intérieur en soit métallique, qu'en regardant cet intérieur comme doué d'une haute température.

On a opposé à ces idées, que le potassium et le sodium, substances qui jouent un rôle important dans l'écorce terrestre, sont trop légers spécifiquement, pour produire les effets auxquels on voudrait arriver; la densité du potassium n'étant que de 0,865 et celle du sodium de 0,972. Or, en admettant, pour simplifier la question, que tous les métaux sont susceptibles de s'unir l'un à l'autre dans certaines proportions et de donner lieu ainsi à des alliages nombreux, il ne s'ensuit pas que cette union puisse se maintenir à toutes les températures: le procédé d'amalgamation par lequel on obtient de l'argent métallique est un exemple bien connu du contraire; car quoique ce procédé soit fondé sur l'affinité de l'argent pour le mercure, cette propriété serait entièrement inutile, si le mercure ne pouvait facilement être volatilisé par la chaleur et laisser ainsi l'argent en liberté. On peut conclure de même, non-seulement que les métaux plus volatils, tels que le potassium et le sodium, seraient rejetés par la grande chaleur aux parties extérieures de la sphère ou du sphéroïde, mais encore que cette température très-élevée s'opposerait à ce que ces métaux forment des alliages; et ce serait là une nouvelle raison qui les rejetterait vers la surface où une grande partie s'en unirait facilement à l'oxigène, et prendrait la densité propre aux oxides de ces métaux. Il s'ensuit que la petite

densité des métaux tels que le potassium et le sodium est un argument de peu de valeur contre la supposition d'un noyau métallique à l'intérieur de notre planète, noyau dont la masse prendrait par suite d'une température très-élevée une densité relativement petite, qui n'excéderait point la densité moyenne qu'on lui attribue communément.

Il serait superflu de reproduire ici les différents faits observés à la surface terrestre, qui viennent à l'appui de la théorie de la chaleur centrale, faits que nous avons eu occasion de réunir ailleurs[1]; il nous suffira de mentionner les résultats généraux de ces observations. 1.° Des expériences nombreuses faites dans les mines prouvent, après qu'on a fait la part des diverses causes d'erreur auxquelles ces expériences peuvent être sujettes, qu'il y a une augmentation de température en allant de la surface vers l'intérieur, à commencer de la profondeur à laquelle l'action des rayons solaires cesse de produire des variations de température; profondeur qui, d'après les expériences faites dans les caves de l'observatoire de Paris, serait de 60 à 80 pieds. 2.° On rencontre des sources thermales dans tous les pays et dans toute sorte de terrains; elles arrivent en général à la surface du sol à travers des crevasses et des ruptures de l'écorce du globe produites par des actions de dislocation à diverses époques géologiques. 3.° La température de l'eau des puits forés, dits *artésiens*, se trouve augmenter avec la profondeur; d'où M. Arago a pensé qu'on pourrait, par la température de cette eau, reconnaître celle de la terre à diverses profondeurs. 4.° La température terrestre, à de petites profondeurs, ne coïncide point avec la température moyenne de l'atmosphère. M. de Wahlenberg a remarqué (et M. Kupffer confirme cette observation) que plusieurs plantes à racines profondes fleurissent dans les régions du nord par cela seulement que la température moyenne de la terre y est plus élevée que la température moyenne de l'air. Les expériences de MM. de Buch, de Humboldt, Hamilton, Hunter, Smith et Ferrier tendent à prouver que la température ordinaire des sources, sous les tropiques, est au-dessous de la température moyenne de l'air dans la même localité. 5.° Des matières ignées ont été rejetées, à toutes les époques, de l'intérieur de la terre. 6.° Les volcans en activité sont répandus aujourd'hui sur toute la surface terrestre; ils présentent tant d'analogie dans leurs phénomènes généraux, qu'on peut les considérer comme provenant d'une même cause située dans de grandes profondeurs. 7.° Les phénomènes géologiques prouvent un grand abaissement de température à la surface du globe. 8.° L'eau des mers et des lacs ne se distribue que d'après

[1] *Manuel géologique*, art. *Température de la terre.*

sa pesanteur spécifique; la température de cette eau ne prouve donc rien, généralement parlant, ni pour ni contre la théorie de la chaleur centrale. On reconnaît cependant dans plusieurs localités des hautes latitudes une augmentation de température avec la profondeur, qui ne s'accorde point avec la distribution de l'eau d'après la loi de la pesanteur spécifique. On peut admettre que cette augmentation de température qui s'interpose dans les effets de la densité, est due à la chaleur du fond de la mer, qui, quoique produisant un effet sensible sur des eaux qui approchent autant que celles des hautes latitudes de leur maximum de densité, n'est cependant point perceptible dans les climats chauds. 9.° Le décroissement de la température terrestre, par le rayonnement vers les espaces planétaires, aurait pu donner lieu, ainsi que l'a indiqué M. Élie de Beaumont, à la formation des diverses chaînes de montagnes et aux dislocations que l'on observe à la surface de notre planète.

Si maintenant on ajoute à ces diverses considérations la probabilité dans le soleil et dans certaines planètes, d'une chaleur qui y contrebalance les effets de la pesanteur; si on se rappelle que la figure de la terre indique nécessairement un ancien état des choses dans lequel les molécules de la matière terrestre jouissaient d'une libre circulation, on finit par avoir tant de preuves en faveur d'une chaleur centrale actuelle qui aurait été beaucoup plus intense aux époques géologiques anciennes, qu'il est bien difficile de se refuser à admettre la théorie de la chaleur centrale comme approchant de la vérité, tout autant que la nature d'un sujet si difficile peut le permettre.

On peut remarquer ici comme un fait curieux que les géologues qui ne veulent point admettre la probabilité d'une chaleur centrale intérieure, n'en ont pas moins recours, pour rendre compte de divers phénomènes géologiques, à une chaleur très-intense agissant d'une manière très-générale sur la croûte du globe. Il en est qui vont jusqu'à admettre que toutes les roches des terrains stratifiés inférieurs ont été des dépôts exactement semblables à ceux qui se forment de nos jours, qu'elles ont même contenu des débris organiques, et que leurs caractères actuels sont dus à l'action d'une grande chaleur qui a totalement changé leur structure initiale. Nous ne nous arrêterons point à mentionner tout ce que cette supposition renferme de contraire aux lois de la physique et de la chimie; nous ferons observer seulement que les terrains stratifiés inférieurs étant répandus avec des caractères identiques sur toute la surface du globe, cette hypothèse exige une température tout aussi élevée et tout aussi généralement répandue que peuvent le

désirer les partisans de la chaleur centrale; et, en effet, si l'on admet que de telles modifications de roches s'opèrent actuellement, la température nécessaire pour les produire surpasserait celles qu'indiquent les calculs fondés sur le refroidissement du globe.

A la suite de ces considérations sur l'état primitif de notre planète, il ne sera pas sans intérêt d'observer quels sont, d'après M. Faraday, les effets de la pression sur différents gaz[1]. Le tableau suivant indique la pression et la température auxquelles les substances gazeuses citées sont devenues liquides dans ses expériences :

Acide sulfureux	2 atmosphères à	7° 22 centigrades.
Cyanogène	3,6	7° 22
Chlore	4	15° 56
Ammoniaque	6,5	10° 00
Hydrogène sulfuré	17	10° 00
Acide carbonique	36	00° 00
Acide muriatique	40	10° 00
Oxide nitreux	50	7° 22

Il est impossible de ne point s'étonner en voyant que le chlore passe à l'état liquide sous la faible pression de quatre atmosphères et à la température de 15° 56 ; tandis que le gaz acide muriatique exige pour se liquéfier un poids équivalant à quarante atmosphères à 10°. Tandis que l'oxigène et l'hydrogène résistent à tous les efforts qu'on a tentés jusqu'ici pour les comprimer à l'état liquide, une très-faible pression suffit pour liquéfier le chlore. C'est là un élément important dans les considérations relatives à l'état gazeux que nous avons supposé dans la matière terrestre. Il n'est pas moins intéressant d'observer que l'acide sulfureux devient liquide sous la très-faible pression de deux atmosphères, et que le cyanogène composé d'azote et de carbone est réduit au même état par une pression de 3,6 atmosphères. Ainsi, quoique le gaz oxigène seul ne soit réduit à l'état liquide par aucune des pressions qu'on a pu exercer jusqu'ici, il n'exige pour passer à cet état, lorsqu'il est uni à un volume égal de vapeur de soufre, qu'une pression de deux atmosphères à la température de 7° 22 ; et l'azote, qui n'a encore pu être rendu liquide par aucune pression, le devient par une faible pression lorsqu'il est uni à deux fois son volume de vapeur de carbone. De même l'hydrogène, qui a résisté à toutes les tentatives faites pour le comprimer à l'état liquide, n'est pas plus tôt uni avec l'azote dans les proportions de trois parties du premier pour une du second, produisant deux volumes de gaz ammoniaque, qu'il suffit pour le liquéfier d'une pression de six atmosphères et demie, à la température de 10°. Ce

[1] *Phil. Trans.* 1823.

dernier fait est très-remarquable, car il montre que, tandis qu'une grande proportion d'hydrogène produit, par son union avec une proportion moindre d'un autre corps simple non métallique, très-difficile aussi à liquéfier, un composé qui passe facilement à l'état liquide, l'union de volumes égaux d'hydrogène et de chlore (ce dernier étant la seule substance simple de son espèce qui se liquéfie facilement par la pression) produit un composé qui exige la pression de quarante atmosphères avant de passer à l'état liquide. Il ne faut pas oublier ici que l'eau, qui est liquide sous une pression moindre encore que celle d'une atmosphère, résulte de la combinaison de deux gaz qui jusqu'ici ont résisté à tous les efforts pour les condenser par la pression.

Il est important, sous le point de vue géologique, de rappeler qu'une faible augmentation de température suffit pour faire bouillir les gaz rendus liquides par la pression, et que la suspension de la force qui les comprime, produit dans quelques-uns de violentes explosions ; en sorte que si une chaleur considérable venait à agir sur certains de ces gaz liquéfiés, sur l'acide carbonique, par exemple, qui serait renfermé à l'état libre dans des roches situées à de petites profondeurs, les roches de la surface seraient nécessairement fracturées et disloquées, si leur résistance était moindre que la force expansive des gaz échauffés dans l'intérieur.

Il ne faudrait pas une grande épaisseur de roches pour produire la liquéfaction des gaz cités dans le tableau précédent, celle même de l'oxide nitreux. La chose deviendra plus évidente si l'on calcule la hauteur d'eau (abstraction faite des gaz que cette eau pourrait renfermer) qui serait nécessaire pour produire le même résultat que celui des expériences de M. Faraday, résultat que nous admettons comme au moins très-approchant de la vérité. Prenons comme d'ordinaire 10^{m},40 (32 pieds) pour la hauteur d'une colonne d'eau faisant équilibre à la pression d'une atmosphère, et négligeons les sels contenus dans la mer, et la compression de l'eau elle-même dans les grandes profondeurs, deux causes qui tendraient à diminuer les profondeurs où se produiraient les effets équivalents, nous trouvons que

l'Acide sulfureux ne pourrait exister à l'état de gaz sous	20^{m},72 à	7° 22 centigrades.
Cyanogène	37 ,49	7° 22
Chlore	41 ,45	15° 56
Ammoniaque	67 ,36	10° 00
Hydrogène sulfuré	176 ,17	10° 00
Acide muriatique	314 ,52	10° 00
Oxide nitreux	418 ,15	7° 22

Comme l'acide carbonique exige pour passer à l'état liquide une pression de trente-six atmosphères, à la température de 0°, il ne peut entrer dans ce tableau, dans lequel nous supposons l'eau pure et par conséquent solide à 0°. Sans doute qu'une pression plus forte rendrait ce gaz liquide à une température plus élevée, mais on a toute raison de croire que les masses d'eau douce conservent toujours dans leurs plus grandes profondeurs une température entre 3° 89 et 4° 4 cent., comme étant celle du maximum de densité de cette eau; de sorte que, en tant qu'il ne s'agit que de pression, l'acide carbonique resterait à l'état gazeux sous tous les lacs d'eau douce connus, leur profondeur étant insuffisante pour produire la liquéfaction de ce gaz. Il en est autrement des eaux de l'océan; suivant M. Ermann l'eau salée, d'une pesanteur spécifique de 1,027, diminue de volume jusqu'à —3°,89, et n'atteint pas son maximum de densité avant la congélation; les expériences du docteur Marcet conduisent à un résultat analogue, car d'après cet auteur, l'eau de la mer atteint son maximum de densité à — 5°,55. L'acide carbonique deviendrait donc liquide, en tant qu'il s'agit de pression, sous 372 mètres d'eau de mer à la température de 0°. Ces conditions peuvent facilement se trouver réunies dans de hautes latitudes; en effet le capitaine Ross a trouvé à la latitude de 60° 44′ N. et longitude 59° 20′ O. une température de — 1°,66 à 365^{m},7; — 2°,28 à 731^{m},4; et — 3°,88 à 1207 mètres. D'autres observateurs pourtant donnent des températures plus élevées pour les eaux profondes des hautes latitudes septentrionales.

En estimant à 2,5 la densité moyenne de l'écorce minérale du globe, ce qui est probablement au-dessous de la réalité, on trouve que l'acide sulfureux, le cyanogène, le chlore, l'ammoniaque et l'hydrogène sulfuré se trouveraient condensés à l'état liquide sous 75 mètres de roches; et que le même effet aurait lieu pour l'acide muriatique sous 171 mètres, pour l'oxide nitreux sous 225 mètres, et pour l'acide muriatique sous 395 mètres, tout en tenant compte dans chaque cas de l'augmentation de la température avec celle de la profondeur. Ce sont là des considérations importantes, non-seulement lorsque l'on se reporte à l'état initial de notre planète, mais encore lorsque l'on a égard aux actions chimiques qui peuvent avoir lieu maintenant sous la surface immédiate de la terre, et qui se manifestent par diverses émanations gazeuses.

CHAPITRE III.

Puisque la figure de la terre exige que cette planète ait été à l'état fluide et qu'il y a de grandes difficultés à concevoir qu'une telle fluidité ait pu être due à une autre cause que la chaleur, on a pensé que le passage de l'état liquide au solide, en conséquence du rayonnement de la chaleur, aurait dû se faire d'abord à l'équateur et que des masses de la croûte solidifiée auraient flotté à la surface du fluide incandescent[1]. La masse fluide était nécessairement soumise à l'action des marées, et par suite, tant que la croûte figée était trop mince pour résister à cette action, elle devait se briser en fragments, semblables à ceux dont est composée en tout lieu la surface solide de notre globe. Quelque surprenant que cela puisse paraître à plusieurs de nos lecteurs, il n'en est pas moins vrai que, lorsqu'on examine en détail la surface de l'Angleterre, on trouve bien difficilement une étendue de huit ou dix milles carrés qui n'ait point été fracturée ou brisée en fragments par des causes qui ont agi à diverses époques géologiques. Ce qui est vrai de l'Angleterre, ne l'est pas moins pour tous les continents et les îles en général, ainsi que l'on peut s'en convaincre par un examen attentif de leur surface. Quelquefois une surface brisée en fragments peut être masquée par un dépôt plus moderne qui n'a point encore subi de dislocations ; mais on reconnaît les fractures inférieures, lorsque les roches cachées par ce dépôt sont mises au jour, soit dans des ravins soit par quelque dénudation ayant agi sur une surface horizontale d'une certaine étendue.

Le rayonnement de la chaleur et la tendance de la croûte solide extérieure à se conformer à la surface fluide inférieure, ont dû nécessairement produire des inégalités à la surface de la terre dès sa première consolidation. De là la théorie de M. Élie de Beaumont sur le soulèvement des montagnes, qui repose sur la nécessité dans laquelle se trouve l'enveloppe solide de la terre de diminuer sans cesse de capacité, malgré la constance presque rigoureuse de sa température, pour ne pas cesser d'embrasser exactement sa masse interne dont la température décroît sensiblement, tandis que le refroidissement de la surface est maintenant presque insensible.[2]

[1] Croiset et Jobert, *Recherches sur les ossements fossiles du département du Puy-de-Dôme.* 1828.

[2] *Man. géol.*, art. *Sur les soulèvements des montagnes.*

Laissant de côté pour le moment la considération des chaînes de montagnes, il nous suffit d'admettre qu'il a existé, dès les premiers temps, des inégalités à la surface de la terre. Si l'on suppose maintenant l'écorce solide assez refroidie pour que l'eau puisse s'y maintenir à l'état liquide, cette eau devra nécessairement agir chimiquement et mécaniquement sur les parties du sol qui la supportent. L'action chimique sera favorisée par la chaleur que peut encore conserver la croûte solide, et il se fera une grande évaporation; en sorte que, les cimes les plus élevées, qui seraient probablement les plus froides, donnant facilement lieu à la condensation des vapeurs aqueuses, il s'établirait des courants d'eau dont l'érosion de la surface du sol serait une conséquence nécessaire. On pourrait supposer que les parties extérieures de la croûte refroidie, composée de différentes substances oxidées, devraient être vitreuses et par suite difficiles à entamer; mais il suffit de rappeler que l'état vitreux n'est dans les produits ignés que le résultat d'un refroidissement rapide, pour faire voir que, bien loin que cette supposition soit applicable à notre cas actuel, le refroidissement très-lent de la croûte terrestre donnerait lieu à des cristaux volumineux des diverses substances, en sorte qu'il en résulterait une surface facile à désagréger et à entamer.

On a longtemps agité la question de savoir si les roches stratifiées inférieures, telles que le gneiss, le micaschiste, etc., ont été produites par voie mécanique ou chimique, c'est-à-dire si elles résultent du dépôt de détritus des roches préexistantes, transportés par les eaux à l'état de suspension mécanique, ou bien si elles sont des précipités chimiques d'un fluide aqueux ou igné dans lequel leurs éléments auraient été disséminés.

Avant de poursuivre cette discussion, il est nécessaire d'examiner avec soin le sens que l'on donne généralement aux mots *couche* et *stratifié*, et de voir si l'on ne confond pas quelquefois le *clivage* avec la stratification. On peut définir rigoureusement une couche comme étant une masse minérale dont les surfaces supérieure et inférieure sont des plans parallèles, lorsque cette couche n'est pas verticale; dans ce dernier cas, ce sont les surfaces verticales qui sont des plans parallèles.

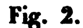
Cette définition est beaucoup trop rigoureuse dans la pratique; aussi appelle-t-on *stratifiées* des roches qui se divisent en lits dont les surfaces supérieure et inférieure ne sont point rigoureusement des plans parallèles, ainsi qu'on le voit dans la figure suivante, qui représente une coupe de différentes assises, *a*, *b*, *c*, *d* et *e*, auxquelles on donnerait dans la pratique le nom de *couches*.


Fig. 1.



L'irrégularité de stratification prouve une irrégularité de formation, il devient donc nécessaire de s'occuper de cet accident dans les recherches sur le mode de production d'une roche stratifiée donnée quelconque. Si l'on admet, pour un instant, que toutes les couches ont été déposées dans l'eau, il semblerait que des couches ayant leurs surfaces supérieure et inférieure presque parallèles, ont dû exiger une tranquillité extraordinaire pendant leur dépôt. Cela serait également vrai que le dépôt se fît par voie chimique ou par voie mécanique. L'inverse devrait se dire de toute stratification irrégulière que l'on pourrait croire avoir résulté de changements ou de perturbations dans l'action chimique ou mécanique qui a produit les roches qui présentent ce caractère.

Les dépôts chimiques peuvent se produire soit dans une solution saturée d'une substance donnée quelconque, soit par des changements parmi les substances dissoutes, ou bien encore par l'introduction d'une nouvelle matière qui donnerait lieu à des composés insolubles. Du moment qu'une substance devient insoluble, elle est suspendue mécaniquement dans le fluide qui la contient, et elle doit tomber au fond plus ou moins rapidement suivant sa pesanteur spécifique relative et son volume. Tout changement chimique dans un fluide ne donne pourtant point lieu nécessairement à un dépôt horizontal; car on sait que les tuyaux de conduite des eaux minérales se trouvent souvent incrustés tout autour de leur surface intérieure. Ce phénomène peut certes être dû au calme provenant de la friction, qui ne permet point à l'eau de passer aussi rapidement contre les parois que dans le centre du tuyau; mais l'incrustation au sommet suffit pour prouver qu'un dépôt chimique peut avoir lieu en sens inverse de la pesanteur. Il arrive souvent, dans les solutions salines, que des cristaux se précipitent à la fois contre les parois et au fond des récipients qui les contiennent, quoique les cristaux puissent être en plus grande quantité vers le fond. Il peut donc arriver, si des dépôts chimiques ont lieu sur de grandes échelles, que les couches qui en résulteront donnent lieu aux apparences les plus trompeuses par la manière dont elles s'appuyeront sur d'autres terrains.

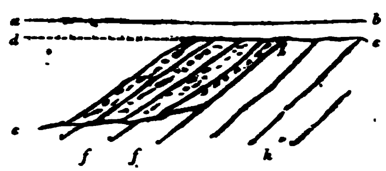

Fig. 2.



Supposons qu'*a* (fig. 2) soit la surface d'un fluide, tel que la mer, dans lequel les couches *b* ont été déposées chimiquement sur la surface préexistante *cd* de la roche stratifiée *cc*. Si par un de ces changements de niveau relatif bien connus aux géologues, les couches *b* venaient à être portées au-dessus de la surface de la mer, il serait assez difficile de décider si l'apparence du redressement des couches *b* en *e* est due à l'intercalation de la masse *d*; ou bien si les couches *b* ont été dès leur premier dépôt dans leur position actuelle relativement à celles *d*. On aurait évidemment tort dans ce cas d'attribuer à une force agissant de bas en haut la position inclinée des couches *b*. Il ne faut donc pas se livrer trop hardiment à des décisions théoriques lorsque l'on rencontre des roches cristallines dans des circonstances analogues à celles de la figure 2.

Un dépôt mécanique peut donner lieu aussi, quoique à un moindre degré, à de fausses apparences. Si un courant d'eau, chargé de matière en suspension mécanique et doué d'une vitesse médiocre, passe subitement d'un bas-fond à une eau profonde, la stratification qui en résultera pourra dans des circonstances favorables aller jusqu'à 40° d'inclinaison.[1]

Fig. 3.



Soit *ab* (fig. 3) la surface d'une eau qui se meut sur la roche *ic* avec une vitesse capable de transporter des cailloux d'un ou deux pouces de diamètre, en sorte que ces cailloux ne puissent s'arrêter sur le plan *ic*; il est évident qu'arrivés en *i* ils sortiront de la direction du courant, qui se continue suivant *cd*, pour tomber dans une

[1] Voyez la note à l'article *Dépôt des détritus dans les lacs*, dans l'*Art d'observer en géologie*.

eau profonde et comparativement tranquille, où ils se disposeront en couches à angles inclinés *ff :* leur arrangement tiendra à la pesanteur et à l'appui qu'ils peuvent se donner les uns aux autres. M. Yates et M. Lyell ont avec raison appelé l'attention sur cette forme de stratification.[1]

Supposons, comme dans la figure 3, que le terrain stratifié *h* eût la même direction et le même plongement que les couches plus récentes *ff*, et que le niveau relatif des eaux et de la terre vînt à changer de telle sorte que les couches *ff* et le terrain *h* fussent mises à sec, il pourra se faire que l'on observe dans un ravin une coupe telle que, le fond *eff* étant caché, on soit porté à conclure que les couches *ff* et la roche *h* ont été redressées par un même soulèvement; supposition qui serait évidemment fausse dans ce cas, puisque les couches *ff* n'ont pas été redressées du tout, et que, si la roche *h* avait été soulevée, elle l'avait été avant le dépôt du conglomérat *ff*.

Nous avons supposé jusqu'ici que le courant transportait des cailloux sur le plan *ic;* que si c'était du sable seulement qui était ainsi transporté, et que la vitesse de l'eau fût la même qu'auparavant, le sable serait évidemment projeté au delà de l'arrête *i*, et ne pourrait d'aucune façon se déposer en couches aussi inclinées que les cailloux. Une fois sorti de la direction du courant, le sable serait porté d'autant plus loin dans l'eau tranquille inférieure, que le grain en serait plus petit; et plus ce grain diminuerait, plus les couches qui en résulteraient approcheraient de l'horizontalité, et se termineraient en un amincissement plus prolongé. Ainsi, en supposant que le courant transporte à la fois du gravier, du sable et des détritus plus fins encore, ces différentes matières tendraient à former des couches diversement inclinées, celles de gravier prenant des angles plus considérables, et celles de vase approchant le plus de l'horizontalité.

Si, au lieu d'un courant capable de transporter des cailloux, nous en supposons un qui ne puisse faire avancer que des grains de sable jusqu'à la limite d'un bas-fond qui se terminerait abruptement, de manière que le sable tombât grain à grain, les uns se plaçant sur les autres, sans être tenus en suspension mécanique par l'eau; il pourrait en résulter des couches de sable inclinées sous un angle comparativement fort grand.

De telles circonstances se rencontrent dans la nature plus souvent

[1] Yates, « *Remarks on the Formation of Alluvial Deposits.* » *Edinburgh New Philosophical Journal, July* 1831; et Lyell, *Principles of Geology,* vol. 3, p. 169. 1833.

qu'on ne pourrait le supposer. M. Yates a remarqué[1] que dans certains lacs, sur des points où les escarpements se prolongent sous l'eau à de grandes profondeurs, le charriage des détritus pourrait produire des couches fort inclinées. Cet auteur remarque en outre que le même effet doit avoir lieu à la terminaison des deltas, où le fond de la mer s'abaisse abruptement. Ce serait le cas du Delta du Gange, si les détritus n'y étaient pas tellement ténus et le courant si rapide que les troubles sont transportés au loin, et déposés sur une surface très-étendue en lits approchant de l'horizontalité. Il y a pourtant plusieurs cas, à la limite des sondages ou bas-fonds sur de grandes étendues de côtes, où l'on peut imaginer que les courants n'ont que la force justement nécessaire pour pousser les grains de sable par-dessus des escarpements sous-marins; d'où il résulterait des couches de sable inclinées de 20° à 30°[2]. Lorsqu'une rivière change son lit, on a constamment lieu d'observer dans les coupes de ses bords des effets analogues aux précédents, mais sur de moindres échelles, et il n'est presque point de roche arénacée qui n'en présente des exemples. Nous sommes donc autorisés à admettre la possibilité, dans des circonstances favorables, de la formation sur une grande échelle, de couches ayant une certaine inclinaison.

Ce que nous venons de dire conduit à d'autres conclusions importantes sur la formation des couches par voie mécanique, et si nous connaissions avec certitude le degré de force nécessaire pour transporter différentes sortes de détritus, nous pourrions calculer avec une certaine précision les diverses vitesses requises pour transporter et déposer des matières détritiques d'une nature donnée, sur des plans inclinés à différents angles. Mais ici les données nous manquent. Nous n'avons point d'expériences sur lesquelles on puisse compter relativement à la pesanteur spécifique, et la forme des détritus que des courants d'eau d'une vélocité donnée peuvent transporter sur une surface horizontale. On a établi qu'une vitesse de six pouces par seconde au fond de l'eau enlèverait les sables fins; celle de huit pouces, des grains de sable de la grosseur des graines de lin; et douze pouces, du gravier fin : tandis qu'il faudrait une vitesse de vingt-quatre pouces par seconde pour rouler des cailloux arrondis d'un pouce de diamètre, et trois pieds par seconde pour

[1] Yates, *Remarks on the Formation of Alluvial Deposits. Edinb. New Phil. Journ. July* 1831.

[2] M. Yates a fait des remarques sur les passages brusques des bas-fonds aux grandes profondeurs le long de plusieurs côtes. *Remarks on the Formation of Alluvial Deposits. Edinb. New Phil. Journ. July* 1831.

entraîner des pierres plates anguleuses de la grosseur d'un œuf.[1] Le lecteur ne pourra s'empêcher de remarquer d'abord que la pesanteur spécifique relative des diverses substances transportées devra nécessairement modifier les effets de la force du courant : mais acceptant ces données comme les plus exactes que nous ayons pour le moment, nous allons essayer d'en tirer quelques conclusions générales.

Presque toutes les rivières peuvent atteindre les vitesses que nous avons citées ci-dessus, surtout si leurs lits sont légèrement inclinés, ou si elles sont exposées à des inondations et à des crues subites. Des détritus des diverses dimensions mentionnées plus haut seront donc transportés et déposés çà et là, ou poussés plus loin encore, suivant les circonstances. Mais le cas est différent, si l'on a égard aux deltas et aux golfes d'embouchure des grands fleuves, ou à la haute mer. La vitesse de l'eau courante est là plus modérée, et il s'ensuit qu'elle ne peut guère transporter à de grandes distances et déposer sur des surfaces étendues que les détritus les plus fins, à en juger au moins par les vitesses connues de l'eau dans de telles circonstances.

Nous ne répéterons point ici ce que nous avons dit ailleurs[2] sur le peu de probabilité que les fleuves, les marées et les courants puissent transporter autre chose que des détritus fort ténus, des sables, de la vase ou des boues ; si on en excepte quelques faits locaux, dans quelques canaux très-étroits, ou le long de promontoires fort saillants, où des masses d'eau peuvent être forcées, par la forme particulière des côtes, de se mouvoir avec des vitesses plus grandes qu'à l'ordinaire. Si nous manquons de données exactes sur le degré de vélocité nécessaire pour que l'eau puisse transporter les détritus de différentes dimensions, nous ne sommes guère plus instruits sur la profondeur à laquelle s'étend l'action des courants. La seule observation de quelque importance à ce sujet, est celle faite par le capitaine Belcher sur la côte occidentale d'Afrique, à la latitude de 15° 27′ 9″ nord et longitude 17° 31′ 50″ ouest. Il en a conclu que le courant avait à peu près le même degré de vitesse (0,75 à l'heure) à la profondeur de quarante brasses qu'à la surface de la mer. Or, si nous supposons que cette vitesse agisse sur le lit de la mer, et que les calculs sur la force de transport des courants soient exacts, nous aurons une force capable de transporter du gravier fin, mais insuffisante pour déplacer des cailloux arrondis ayant un pouce de diamètre, ce qui exigerait une vitesse d'environ 1,1 mille marin par heure.

[1] *Encyclopædia Britannica*, art. *River*.

[2] *Man. géol.*, art. *Force de transport des marées et des courants.*

Si nous pouvions compter sur la force de transport des eaux que nous avons rapportée plus haut, nous aurions un point de départ pour calculer les effets des marées et des courants à des profondeurs de quarante brasses et au-dessous, et nous pourrions conclure par analogie ce qui devrait se passer dans de plus grandes profondeurs. Mais tout en admettant que ces données sont ce qui approche le plus de la réalité, il est encore un élément fort important dont il faut tenir compte dans tout calcul de ce genre, c'est-à-dire le frottement. Le frottement de l'eau courante sur le fond de son lit est très-considérable, et aucun courant ou marée ne peut avoir la même vitesse à la surface de la mer et à son fond. S'il en était autrement, les courants produits par la marée ne seraient le long de la plupart des côtes que des masses d'eaux troubles. Dans le fait la diminution de la force de transport des eaux par le frottement est telle que des marées dont la vitesse à la surface est de deux milles par heure, et qui par conséquent pourraient (d'après les calculs cités plus haut) transporter des cailloux plats de la grosseur d'un œuf, passent sur des bancs de sable et même de vase à quelques brasses de profondeur seulement, sans en entamer la surface.[1]

Il serait fort à désirer que de bonnes observations sur le passage des courants produits par les marées à la surface des bancs de vase, de sable et autres, pussent indiquer quel est le degré de frottement qui empêche que ces bancs ne soient entraînés au loin. Les personnes qui sont accoutumées à naviguer parmi les bancs de sable à l'embouchure des rivières, peuvent avoir souvent observé comment lorsque le reflux jette la masse des eaux dans les canaux nombreux qui bordent ces bancs de sable, les bords de ces bancs sont entamés par l'action de l'eau courante; cependant l'effet d'érosion dû au frottement est bien au-dessous de ce que l'on pourrait croire, et

[1] Il est curieux d'observer combien certains poissons, les truites, par exemple, s'aident des effets du frottement de l'eau sur les côtés et le fond des rivières. Elles aiment à se tenir dans les eaux courantes et elles emploient une quantité donnée de leur vigueur musculaire pour résister à la force du courant; mais lorsque le volume et la vitesse des rivières sont augmentés considérablement par les pluies, ces poissons se rapprochent du fond ou des côtés, où ils retrouvent la vitesse ordinaire du courant, qui n'exige d'autre effort musculaire de leur part que celui qu'ils exercent habituellement. Sans ce ralentissement du courant par le frottement, les poissons seraient entraînés hors des rivières lors des grandes inondations, ainsi que cela eut lieu à la Jamaïque par suite d'un ouragan, c'est-à-dire par une cause extraordinaire. La quantité d'eau qui tomba dans l'ouragan de 1815 fut telle qu'elle entraîna à la mer tous les poissons de la rivière de Yallahs, et l'on observait encore dix ans après qu'il n'y avait aucun poisson d'eau douce dans cette rivière.

un examen attentif montre souvent que le clapotage ou léger mouvement de la surface de l'eau est tout aussi destructif que l'action de la masse d'eau courante, que l'on observe facilement être moindre tout près du banc qu'à quelque distance. On peut remarquer aussi dans les mêmes localités, avant que le reflux ait laissé les bancs de sable à sec, quelle est la différence causée dans les vitesses de l'eau par le frottement sur le fond. Les bas-fonds, qui vont être bientôt à sec, sont couverts d'une eau presque tranquille, tandis que la masse du jusant, ne pouvant plus se mouvoir sur une surface aussi étendue qu'auparavant, court avec une plus grande vitesse (à moins que ce ne soit le moment des basses eaux) au-dessus des parties plus profondes du lit de la rivière, qui en sont à proprement parler les véritables canaux. Il n'y a point de batelier qui ne sache qu'en se tenant près de la côte ou d'un banc de sable, lorsqu'il va contre marée, il fait plus de chemin que s'il reste au large; et dans les cas de fortes marées, son arrivée à sa destination pendant un flux ou reflux donné, peut dépendre du plus ou moins de distance à laquelle il se tient de terre.

Il importe de bien se pénétrer de ces faits, qui prouvent que lorsque des courants de marée passent sur des fonds de sable, avec des vitesses même de deux ou trois milles à l'heure, à quelques pieds au-dessus du fond, le mouvement de l'eau ne déplace point sensiblement le sable, parce que la vitesse des couches d'eau interposées diminue en raison de leur voisinage du fond. Sans ce ralentissement, qui est dû au frottement, les animaux marins ne sauraient vivre ainsi qu'ils le font en si grand nombre sur les fonds de vase, de sable et de galets; eux et leurs habitations seraient entraînés et transportés de place en place à chaque marée. Ainsi, dans ce cas, comme dans tous les phénomènes naturels, tout se coordonne à un plan déterminé. Plusieurs animaux marins vivent dans la vase et le sable; il s'opère des dégradations des roches; les détritus qui en résultent sont distribués sur le fond de la mer à diverses profondeurs; mais si l'action des marées et des courants pouvait facilement entamer la vase et le sable ainsi déposés, cette accumulation de matériaux détritiques qui doit servir d'habitation aux animaux marins, deviendrait inutile; et par suite il est pourvu à ce que ces bancs de vase ou de sable jouissent d'une certaine stabilité relative.

Nous allons maintenant nous occuper d'un élément très-important dans tous les calculs relatifs à la production et au transport des détritus; nous voulons parler des *brisants*, nom que l'on donne aux vagues qui viennent frapper les rivages de la mer. Leur action a été souvent confondue, faute d'attention suffisante, avec celle des cou-

rants et des marées, dans des localités où la vitesse d'eau due à ces dernières causes, n'était nullement capable de produire les effets observés. De là maintes idées erronées sur les forces de destruction et de transport des marées et des courants. Lorsque des falaises s'élèvent au bord de la mer, l'action des brisants tend constamment à détruire et entraîner le pied de l'escarpement; lorsque le sol est plat et de niveau avec les eaux, cette même action tend au contraire à accumuler des détritus sur la plage. Il y a bien peu de côtes de quelque étendue qui n'offrent des exemples de ces deux faits. Personne ne saurait douter de l'action destructive des brisants; mais lorsqu'on voit des bancs et des collines de sable plus élevés que le niveau de la mer, on pourrait hésiter à admettre que ces accumulations détritiques résultent d'une action de la mer, qui paraît ainsi exercer une influence protectrice contre ses propres ravages. Un peu d'attention suffit cependant pour démontrer que les faits se passent réellement ainsi que nous l'avons annoncé.

On considère généralement les vagues comme de simples ondulations de l'eau, dont les molécules s'élèvent et s'abaissent presque à la même place, et communiquent leur mouvement de vibration aux molécules voisines. Cette manière de voir peut être assez exacte relativement aux vagues qui sont produites par des perturbations qui ont lieu à l'intérieur de la masse des eaux, ou bien par la chute d'une pierre, et dont l'effet est analogue aux vibrations de l'air lors de la propagation du son. Mais les vagues produites à la surface de la mer par l'action des vents sont d'une autre nature; elles sont dues au frottement de l'atmosphère sur la surface de l'eau. Sans doute qu'il s'opère aussi dans ce cas un mouvement de vibration; mais les portions superficielles de l'eau, qui se trouvent au contact du vent, reçoivent du frottement un mouvement d'impulsion dont la vitesse tient d'un côté à la force du vent, et de l'autre à la résistance des molécules d'eau superficielles. Tout le monde sait que les courants de l'océan sont dus à l'action des vents dominants; s'il en fallait des preuves, on en trouverait une évidente dans les effets des moussons des mers de l'Inde et de la Chine. Ces effets ne sauraient se produire si le frottement du vent à la surface de la mer ne donnait aux eaux de cette surface un mouvement d'impulsion dans le sens de la direction du vent.

Les personnes qui ont éprouvé des tempêtes violentes sur l'océan savent trop bien que l'eau au sommet des vagues poussées par l'action des vents, possède une force d'impulsion terrible, force qui se propage vers le bas de la vague en raison de la vitesse du vent. C'est à cette cause que sont dus les accidents si funestes qu'éprou-

vent les bâtiments, lorsqu'ils sont heurtés par un coup de mer qui balaye tout ce qu'il rencontre devant lui. Il nous faut bien distinguer ces vagues des ondulations de l'eau, qu'on appelle *houles* en terme de marine, et qui ne sont que des effets de vibration qui se propagent toujours avec beaucoup plus de rapidité que n'en ont les molécules de l'eau réellement poussées par le vent. La houle s'étend bien au delà des régions traversées par les vents qui l'ont causée, et rien n'est plus commun, en haute mer, qu'une houle venant d'un point de l'horizon duquel il n'a point soufflé de vent.

La houle n'est qu'une simple ondulation de l'eau qui s'étend au delà des surfaces balayées par les vents qui produisent les vagues, ou qui se fait sentir à ces mêmes surfaces après la fin du vent qui les a occasionnées. Ces vibrations ne donnent lieu par elles-mêmes à aucun mouvement d'impulsion. C'est à la houle qu'on peut appliquer les théories de MM. Bremontier, Émy et autres auteurs, qui admettent une succession de mouvements verticaux ou elliptiques dans les molécules de l'eau. Mais l'eau de la sommité des vagues produites par des vents furieux, est évidemment poussée en avant, et les vagues se brisent en pleine mer par la résistance de l'eau inférieure, d'après le même principe qui les fait se briser sur les côtes, avec cette seule différence dans les effets, que la résistance étant solide sur la côte, la vague brisée se précipite plus loin qu'elle ne peut le faire lorsqu'elle se brise en pleine mer sur un corps fluide peu résistant. Lors donc que des vents violents agissent sur les vagues, leur effet se compose à la fois d'ondulations ou vibrations et de l'impulsion de l'eau superficielle occasionnée par le frottement de la masse d'air qui se meut au-dessus, tandis que, lorsqu'il n'y a point de vent pour produire ce frottement, les vagues ne sont que de simples vibrations. La forte houle et le ressac qui a lieu le long des côtes, et qu'on observe plus particulièrement dans les îles des grands océans, telles que celles de l'Ascension, de Sainte-Hélène et du Cap-Vert, sont évidemment des vibrations dues à l'action continuée des différents vents à la surface d'une grande nappe d'eau, vibrations qui se propagent même dans des eaux qui paraissent tranquilles à l'œil. Ce n'est que lorsque l'approche de la terre ou des bas-fonds offre de la résistance à ces vibrations qu'elles sont arrêtées, et le premier effet en est une houle qui se brise en courant sur la plage, et elles viennent mourir ainsi tout le long de la côte. Ces vibrations se termineraient naturellement d'elles-mêmes, comme celles qui dans l'air produisent le son, par une distance suffisante de la cause de perturbation qui les a produites; mais un océan battu par une multitude de vents sur différentes parties de sa surface, est dans un

cas analogue à celui de l'air au-dessus d'un pays habité, qui est tenu dans une agitation constante par une multitude de sons provenant de la surface de la contrée, en sorte que, lorsqu'un de ces sons se termine sur un point, un autre commence sur un point différent.

Les vagues et la houle agissent sur les molécules d'eau inférieures jusques à des profondeurs plus ou moins considérables, suivant leur plus ou moins grande violence. La profondeur approchée à laquelle s'étend cette action n'est nullement déterminée ; les auteurs qui se sont occupés de ce sujet ont donné des résultats très-divers. M. Émy assure que l'action des vagues s'étend jusqu'à 500 pieds de profondeur sur le banc de Terre-Neuve. Il n'est pas facile d'avoir des données précises à cet égard, car les effets apparents de l'agitation de l'eau au fond de la mer varieront suivant la nature de ce fond, c'est-à-dire suivant qu'il est composé de vase, de sable, de gravier ou de roches solides. En outre on ne peut s'assurer de l'agitation au fond de la mer qu'autant qu'on arrive à se procurer, à l'aide d'instruments convenables, de l'eau prise à diverses profondeurs, et voir ainsi à quelle hauteur cette eau commence à être chargée de détritus ; car il peut arriver que l'agitation de l'eau ne soit pas assez forte pour porter jusqu'à la surface les matériaux enlevés au fond de sable ou de vase. Quoi qu'il en soit, l'eau est certainement troublée sur la plupart des côtes par l'action de fortes vagues sur un fond de sable et de vase, d'environ quinze brasses de profondeur, surtout lorsqu'une tempête se continue pendant plusieurs heures, la matière détritique pouvant alors être portée jusqu'à la surface, comme par les secousses répétées d'une agitation prolongée.

La vase et le sable ainsi déplacés, et tenus en suspension mécanique dans l'eau, retomberaient à la fin de la houle à leur place, ou à peu près, dans des eaux un peu profondes ; mais il en sera autrement près des côtes où, d'après la résistance du fond, l'eau acquiert une impulsion capable de produire un brisant : dans ce cas, la vase, le sable ou le gravier seront poussés vers la côte. Les effets des vagues poussées par l'action du vent seraient plus compliqués ; la force de transport de la surface serait dans la direction du vent qui produit les vagues ; or la quantité de détritus qui pourrait ainsi être lancée en avant (en supposant que les détritus soient tenus en suspension mécanique près de la surface) dépendrait de la profondeur jusqu'à laquelle s'étend la force d'impulsion, et cette force dépendrait à son tour de la force et de la durée des vents qui ont produit les vagues. Nous avons dit que les vents dominants

produisent des courants, il reste à connaître la profondeur jusqu'à laquelle s'étend l'action de ces courants. Ici encore nous manquons de données certaines. L'expérience du capitaine Belcher sur les côtes d'Afrique, que nous avons rapportée plus haut (page 37), nous prouve qu'un courant n'avait presque point perdu de sa vitesse à la profondeur de quarante brasses; et il est des circonstances qui pourraient faire croire que l'action des courants peut s'étendre au moins jusques à quatre-vingts brasses de profondeur. Si donc le fond de la mer est entamé par l'action des vagues, la matière détritique qui en sera suspendue mécaniquement dans l'eau, pourra être entraînée dans la direction du courant produit par cette même action. La quantité de la matière tenue en suspension mécanique dans la masse d'eau en mouvement, dépendrait de la profondeur de la mer et de la force du vent dominant, tandis que la distance à laquelle les détritus seraient transportés, serait proportionnée à la profondeur et à la vitesse du courant.

Nous devons rapporter ici une observation de M. Babbage, qui à la vérité ne peut s'appliquer à la localité qu'il a prise pour exemple, mais qui n'en est pas moins vraie en théorie. Il remarque que si de la vase tenue en suspension mécanique dans l'eau, met une heure à descendre d'un pied, elle sera entraînée, par un courant ayant une vitesse de trois milles à l'heure, jusqu'à la distance de 1500 milles avant d'atteindre une profondeur de 500 pieds[1]. Une telle vitesse ne peut guère être qu'un fait local, mais il est essentiel de tenir compte du principe général. Il serait curieux de calculer jusqu'à quel point un fond de sable ou de vase peut être entamé par l'action des vagues, lorsqu'il ne peut l'être par le frottement ordinaire d'un courant, et si la vase et le sable, qui dans le dernier cas ne seraient point déplacés, pourraient l'être dans le premier.

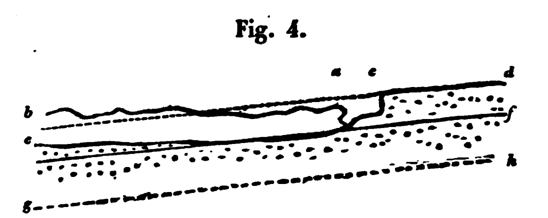
Comme les vents venant de la mer produisent des vagues dont la force de transport augmente à mesure qu'elles approchent de la terre, et comme les vents de terre ne produisent des vagues un peu considérables qu'à quelque distance des côtes, tandis que la mer est calme près du bord, il s'ensuit que la somme générale des mouvements opérés par les vagues le long des côtes tend à accumuler des détritus sur la plage. Les étendues considérables des plages de galets et des dunes ou collines de sable en avant des basses terres en sont des preuves évidentes.[2]

[1] Babbage, *Economy of Manufactures*, 2.e édit., p. 51.

[2] On a cru inutile de répéter ici toutes les circonstances relatives à la formation des plages de galets et de sable, et à celle des dunes, qui sont rapportées dans le Manuel géologique; on a donc omis plusieurs faits intéressants. Cependant

Nous allons passer maintenant à l'action destructive que les vagues exercent sur les côtes. C'est là l'agent le plus puissant de tous ceux que la nature met en jeu pour la dégradation de cette partie des terres qui s'élève au-dessus du niveau de la mer. La force des brisants n'est guère connue des personnes qui n'en ont point éprouvé, ou du moins observé les effets; leur action destructive est telle, dans les fortes tempêtes, que les grands bâtiments jetés à la côte sont promptement mis en pièces, tandis que de petits bâtiments sont quelquefois partagés en deux par le coup d'un seul brisant. On ne doit donc point être surpris de voir de gros blocs de pierre facilement balayés par les brisants, ainsi que cela est arrivé à Plymouth pendant les tempêtes violentes de 1824 et 1829; des masses calcaires du poids de 2 jusqu'à 5 tonneaux roulaient sur la digue comme de petits cailloux, et un bloc de maçonnerie pesant 7 tonneaux fut entraîné à dix pieds de distance, quoiqu'il fît partie de la jetée de la baie de Bovey-Sand, et qu'il fût situé à seize pieds au-dessus des plus hautes marées[1]. Ce sont là sans doute des effets d'une agitation extraordinaire de l'eau, mais les effets plus ordinaires des brisants pris dans leur ensemble n'en sont pas moins fort considérables; ils creusent par leur action répétée toutes les parties des côtes composées de substances peu résistantes, pour peu que ces côtes s'élèvent de quelques pieds au-dessus du niveau de la mer. Les sables, les grès faiblement agrégés et les argiles ont bientôt disparu, lorsque par des changements à la surface du sol ces roches se trouvent exposées à l'action des brisants.

Fig. 4.



Supposons que dans la figure ci-dessus *bf* représente le niveau de la mer; *a* un brisant tombant sur la côte et attaquant les couches de grès friable, ou d'argile de la falaise *c*; ces roches faciles à désagréger seront promptement entamées, et l'escarpement reculera

ces faits, passés ici sous silence, ne sont pas essentiels à la question des divers modes de stratification, question à laquelle se rapportent les raisonnements du texte.

[1] *Man. géol.*, art. *Plages de galets*.

dans la direction *ed*, tandis que les matériaux solides résultant de cette destruction seront entraînés à la mer pour être soumis, suivant les circonstances, à la force de transport des marées ou des courants. Supposons qu'antérieurement à l'état de choses actuel, la surface du terrain qui est maintenant exposé aux brisants formât une ligne *ed*, et que cette ligne de surface eût été soulevée avec la masse du terrain depuis la position *gh* par une force agissant de bas en haut. Pendant que la surface de la roche était en *gh*, elle était hors de l'action des brisants, quoiqu'elle pût être sujette, d'après la conformation du sol et d'autres circonstances, à être recouverte par les détritus accumulés par les vagues. Dès l'instant, au contraire, que l'élévation a eu lieu, de sorte que la ligne de la surface du terrain *ed* coupât le niveau de la mer *bf*, l'action destructive des brisants a commencé à s'exercer, et le déplacement des matériaux du grès ou de l'argile a été la suite de cette destruction.

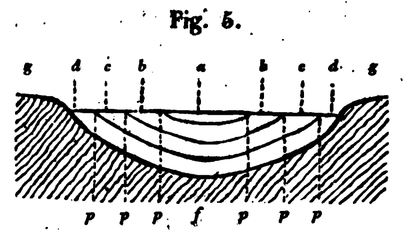
Lorsque des falaises formées par des roches faciles à désagréger, telles que l'argile ou autres roches analogues, sont ainsi entamées, la profondeur à laquelle s'étend cette destruction n'est point considérable. La chose est parfaitement visible à la côte nord du comté de Kent, où les falaises de l'argile de Londres près des *Reculvers* sont continuellement sapées par les brisants; de telle sorte que la côte doit avoir été jadis beaucoup plus étendue qu'elle n'est aujourd'hui, la mer gagnant toujours du terrain; fait que les documents historiques confirment de tout point. Or les bancs faisant face à la côte ne sont couverts de sable qu'à la profondeur de quelques pieds, au-dessous desquels on trouve de l'argile, qui est, suivant toute probabilité, la continuation de l'argile de Londres des falaises; de sorte que, si une partie de cette argile a été enlevée par l'action des brisants, ce qui en reste paraît être maintenant, jusqu'à un certain point, à l'abri de toute dégradation ultérieure.

CHAPITRE IV.

Les rivières transportent à la mer, surtout à l'époque des grandes crues, une plus ou moins grande quantité de détritus, arrachés au continent par divers agents de dégradation [1]; mais il a été reconnu, dans presque tous les cas où on a voulu s'occuper de cet objet, que l'eau douce ainsi chargée de détritus est encore d'une pesanteur spécifique moindre que celle de l'eau de la mer. La relation entre ces pesanteurs spécifiques dépend nécessairement de la quantité de matière qui se trouve à l'état de suspension mécanique dans l'eau des rivières. On a peu de bonnes expériences sur ce sujet, qui mériterait pourtant une attention sérieuse. Il ne suffit pas de vérifier quelle est la quantité moyenne d'eau qui passe dans un an dans le lit d'une rivière, et, prenant sur un point quelconque une certaine quantité de cette eau, voir combien elle contient pour cent de matière solide en suspension mécanique; il faut se rappeler aussi que la force de transport de l'eau dépend de sa vitesse; en sorte que la force de transport est la plus grande là où la vitesse est la plus grande. La plus grande vitesse a lieu nécessairement à la surface de la rivière, et à son milieu, en supposant que son lit soit une courbe régulière, s'élevant uniformément de chaque côté du point central jusqu'à la rive. Il s'ensuit que des matières qui seraient entraînées par le courant central, pourraient être arrêtées si elles passaient dans la couche courbe d'eau qui entoure le courant central plus rapide; elles tendraient alors à tomber au fond, abstraction faite de l'impulsion qu'elles avaient lorsqu'elles sont entrées dans cette couche. Il faudrait un certain temps pour qu'un fragment détritique pût vaincre la résistance qu'opposent à sa chute les molécules d'eau de cette couche, et pendant ce temps la couche d'eau aurait continué sa marche, en sorte que le fragment décrirait, en la traversant, une courbe parabolique que l'on pourrait calculer, connaissant la profondeur, la vitesse relative des diverses couches d'eau et la qualité du détritus tenu en suspension mécanique.

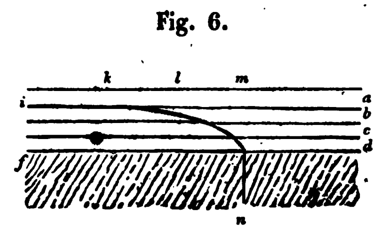
[1] *Man. géol.*, art. *Dégradation des continents.*

Fig. 5.



Supposons que la figure 5 représente la coupe d'une rivière *d*, *c*, *b*, *a*, *b*, *c*, *d*, ayant ses bords en *g*, *g*, et son fond en *f*; *a* sera le courant central ayant la plus grande vitesse et par conséquent la plus grande force de transport; la couche d'eau *b*, *b* aura moins de vitesse, et par suite une force de transport moindre; la couche *c*, *c* aura moins de vitesse encore, et enfin la couche *d*, *d* sera la plus lente de toutes, grâce à l'action du frottement de l'eau contre les côtés et le fond du lit de la rivière. Pour faciliter l'intelligence de la figure ci-dessus, on a donné une grande épaisseur aux couches d'eau, qui doivent être regardées en réalité comme excessivement minces.

Fig. 6.



Soit *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 6) la coupe longitudinale des couches d'eau correspondantes à celles de la coupe transversale représentée dans la figure 5. Admettons que le mouvement des molécules d'eau de la couche centrale *a* suffise pour tenir en suspension mécanique un fragment détritique donné, de même qu'un sédiment est tenu en suspension dans un vase d'eau par une certaine quantité de mouvement imprimé à cette eau; ce fragment suivra avec le courant sans que l'action de la pesanteur le fasse enfoncer bien sensiblement. Supposons maintenant que, soit par l'action prolongée de la pesanteur, soit par une nouvelle charge de matière en suspension mécanique, soit par le ralentissement dû au frottement des couches d'eau les unes sur les autres, une partie des détritus entre dans la

couche *b*, dont la vitesse n'est point suffisante à les tenir en suspension mécanique ; la pesanteur agira alors avec toute sa force, et les molécules du détritus tendront à descendre verticalement ; mais la résistance opposée par les molécules d'eau de la couche *b* fera que le détritus aura passé de *k* en *l* (fig. 6) avant qu'il soit sorti de la couche *b* pour entrer dans la couche *c*. La vitesse de *c* étant moindre que celle de *b*, la matière détritique, en traversant *c*, n'avancera horizontalement que de *l* en *m*; par la même cause, en traversant la couche *d*, le détritus ne passera que de *m* en *n* avant d'arriver au fond *f*; nous aurons donc ainsi la courbe *i n* (fig. 6) comme celle qu'a décrit le fragment détritique pendant sa chute depuis le courant central jusqu'au fond de la rivière.

Il est évident que, si ce fragment emploie un temps égal à traverser les couches *b* et *c* (fig. 6) que nous supposons d'égale épaisseur, tandis que la distance horizontale qu'il parcourt dans la couche *c* est moindre que celle pareourue dans la couche *b*, il y aura une accumulation de détritus dans les couches inférieures ; par conséquent, plus on approchera du fond, plus la quantité relative de détritus qu'on trouvera dans l'eau sera considérable. L'expérience nous prouve qu'il en est réellement ainsi. On pourra dire que si, eu égard à toutes ces considérations, on prend une moyenne entre les quantités de détritus charriées par les diverses couches d'eau, on doit trouver sans difficulté la quantité totale de matière solide qu'une rivière transporte à une époque donnée quelconque. Ce serait le cas, en effet, s'il suffisait de tenir compte d'une seule section longitudinale d'une rivière ayant peu de profondeur, et telle que peut nous la représenter la figure 6. Mais si nous supposons plusieurs sections longitudinales dont la trace serait représentée par les lignes verticales *p*, *p*, *p*, *p*, *p*, *p* dans la coupe transversale (fig. 5), on aura deux séries, une de chaque côté de la section centrale, dont les termes ne seront pas égaux sous le rapport de la vitesse de l'eau, de la force de transport, et de la quantité de détritus contenue dans chacun. Un simple coup d'œil sur la figure 5 suffit à faire voir que les vitesses doivent être inégales, puisque les diverses sections longitudinales ne coupent point les mêmes couches d'eau ; les forces de transport seront donc différentes aussi. La différence dans la quantité de détritus transportée ne tiendrait pas seulement à cette cause ; car la couche d'eau *d* n'est point recouverte par les autres près des bords *g*, *g*; cette couche n'a donc pu recevoir les détritus tenus précédemment en suspension mécanique dans les couches *c* ou *b*.

On voit donc que le calcul de la quantité de matières détritiques

charriées à une époque donnée par une rivière dont la coupe serait aussi uniforme que celle de la figure 5, serait extrêmement difficile. Or une coupe aussi simple ne se rencontre presque jamais dans la nature, et on doit regarder comme un cas excessivement rare, celui d'une rivière dont la forme du lit se prêterait aussi bien au calcul. Les coupes ordinaires des lits des rivières sont beaucoup plus compliquées. Si donc nous nous rappelons tout ce que nous avons dit plus haut sur la difficulté que l'on éprouverait à calculer la quantité de matière charriée par une rivière à une époque donnée, et si nous réfléchissons que cette quantité varie constamment d'un moment à l'autre, nous pourrons conclure qu'il n'y a que les personnes favorablement situées pour de telles observations et qui veulent bien s'y consacrer entièrement, qui puissent arriver à obtenir quelque chose d'approchant d'une moyenne annuelle du charriage d'une rivière, puisque ce travail exige autant d'observations, de temps et de calculs.

La méthode que l'on emploie habituellement pour connaître la quantité totale des détritus charriés par les grandes rivières qui forment des deltas, consiste à calculer l'augmentation de la surface de ces deltas pendant un temps donné, tel qu'un an ou un siècle. Mais l'agrandissement de cette surface n'est nullement une donnée exacte, à moins qu'on ne prenne en considération aussi la profondeur d'eau dans laquelle le delta s'avance. Si des détritus charriés par une rivière se déposent en dehors du talus d'un delta, la quantité de ces détritus sera la même, toutes choses égales d'ailleurs, soit que l'agrandissement superficiel soit 2 et la profondeur 4, ou bien que le premier soit 1 et la seconde 8. Il s'ensuit qu'un delta dont la surface croîtra d'une certaine quantité pendant un temps donné et dans une profondeur d'eau donnée, devra cet accroissement à une accumulation de détritus tout aussi grande que celle qui s'opérerait dans un delta dont, toutes les autres circonstances restant les mêmes, la profondeur d'eau serait moitié et l'accroissement superficiel double du premier.

La distance jusqu'à laquelle l'eau des rivières, plus ou moins chargée de détritus, surnage au-dessus de l'eau de la mer, tient évidemment à plusieurs causes différentes. Le capitaine Sabine a trouvé dans l'océan des eaux colorées, qu'il a supposé être celles de la rivière des Amazones, à une distance de trois cents milles de l'embouchure de cette rivière. L'épaisseur de la masse des eaux troubles était de 126 pieds; leur pesanteur spécifique était de 1,0204, et celle de l'eau de la mer de 1,0262. Il paraît que c'est là la plus grande distance de terre à laquelle on ait trouvé de l'eau des rivières

à la surface de l'océan. Si les rivières contenant des matières détritiques en suspension coulaient sur l'eau de la mer suivant des lignes à peu près droites, le dépôt des matières charriées se ferait aussi en ligne droite à partir de l'embouchure. Mais si les eaux de la rivière sont détournées par un courant, ainsi que c'était le cas pour celles observées par le capitaine Sabine, les détritus seront déposés sur une surface qui correspondra de fort près aux détours que la rivière a été obligée de faire hors de la direction que l'aurait portée à suivre son impulsion à l'embouchure. Supposant exacte la vitesse de trois milles par heure, donnée par le capitaine Sabine, il est fort curieux à observer que l'agitation et la résistance des molécules d'eau devait suffire pour tenir en suspension mécanique des détritus très-atténués, en sorte que ces détritus ne devaient sortir de l'eau douce qu'à la jonction de celle-ci avec l'eau de mer sur laquelle elle coulait, parce que le frottement y diminuerait la vitesse de la première. En sorte que, si une rivière peut conserver en coulant par-dessus la mer une certaine vitesse, elle peut ne déposer qu'une faible partie des détritus qu'elle charrie, entre son embouchure et la place où elle est enfin arrêtée. Cependant, quoique ce dépôt sous le passage du courant de la rivière ne dût pas être aussi abondant qu'on eût d'abord pu le croire, l'accumulation constante de la matière déposée, quoique peu considérable dans un temps donné, produirait dans le cours des temps un effet appréciable.

Quoique, dans des circonstances favorables, les détritus puissent être transportés à de grandes distances en mer, la plus grande quantité s'en accumulera pourtant toujours près de l'embouchure des rivières qui les charrient; c'est en effet ce que nous devons nous attendre à trouver, puisque les rivières sont le plus chargées de matières étrangères vers leur fond, là précisément où le ralentissement dû à la friction est le plus grand.

Nous avons examiné jusqu'ici les divers moyens par lesquels les détritus sont charriés à la mer, et nous avons vu aussi jusqu'à un certain point de quelle manière ils pouvaient être entraînés par les courants et les marées. Il nous faut maintenant rappeler quelle est la pesanteur spécifique des diverses substances qui sont le plus communément charriées par les rivières.

Pesanteurs spécifiques des minéraux qui entrent le plus communément dans la composition des roches. [1]

N.	Sélénite	2,2 à 2,4	B.	Stéatite	2,63
D. B.	Spath calcaire (Islande)	2,71	H.	Chlorite	2,71
H.	Arragonite	2,93	Hy.	Chiastolithe	2,94
D. B.	Cristal de roche	2,65	H.	Hypersthène	3,38
D. B.	Quarz ordinaire	2,63	D. B.	Amphibole (hornblende)	3,27
B.	Silex (de la craie)	2,59	D. B.	Augite (noir)	3,16
D. B.	Chert	2,64	D. B.	Olivine (en grains)	3,39
H.	Feldspath	2,53 à 2,60	H.	Amphigène (Leucite)	2,48
H.	Albite	2,61 à 2,68	H.	Grenat	3,61 à 4,20
D. B.	Feldspath du Labrador	2,56	H.	Tourmaline (schorl)	3,07
H.	Mica	2,94	H.	Diallage	3,25
D. B.	Talc	2,76	N.	Pyrites de fer	4,5 à 4,90

Pesanteurs spécifiques des roches.

D. B.	Calcaire grossier (Paris)	2,62	D. B.	Vieux grès rouge (Worcestershire)	2,65
D. B.	Craie pure (Sussex)	2,49	D. B.	Grauwacke (Hartz)	2,64
D. B.	Grès vert sup.[r] (Wiltshire)	2,47	D. B.	Grauwacke, commune (Ilfracombe, Devon)	2,69
D. B.	Grès vert inf.[r] (Wiltshire)	2,61	D. B.	Grauwacke, calcaire (Ilfracombe)	2,77
D. B.	Oolite de Portland (Portland)	2,55	D. B.	Grauwacke (Snowdon)	2,76
D. B.	Marbre de Forest (Pickwall)	2,72	D. B.	Schiste argileux, grauwacke (Devon)	2,81
D. B.	Oolite de Bath (Bath)	2,47	D. B.	Marbre de Carrare, pur	2,70
D. B.	Schistes de Stonesfield (près de Stow-in-the-Wold)	2,66	D. B.	Micaschiste (Écosse)	2,69
D. B.	Calcaire du lias (Lyme Regis)	2,64	D. B.	Gneiss (Freyberg)	2,72
D. B.	Marnes bigarrées du nouveau grès rouge (Devonshire)	2,61	D. B.	Domite (Puy-de-Dome)	2,37
D. B.	Muschelkalk, coquillier (Gottingue)	2,62	D. B.	Trachyte (Auvergne)	2,42
D. B.	Grès houiller, Pennant (Bristol)	2,60	D. B.	Basalte (Écosse)	2,78
D. B.	Schistes houillers, avec impression de fougères (Newcastle)	2,59	R.	Basalte (Auvergne)	2,88
	Houille bitumineuse (Newcastle)	1,27	D. B.	Basalte (chaussée des Géants)	2,91
D. B.	Millstone grit (Bristol)	2,58	D. B.	Grünsteins divers (de différents pays)	2,69 à 2,95
D. B.	Calcaire carbonifère (Bristol)	2,75	D. B.	Syénite (Dresde)	2,74
R.	Calcaire carbonifère (Belgiq.)	2,72	D. B.	Porphyre (Saxe)	2,62
D. B.	Vieux grès rouge, micacé (Herefordshire)	2,69	D. B.	Serpentine (Lizard, Cornouailles)	2,58
			D. B.	Euphotide (Diallage rock, Lizard, Cornouailles)	3,03

[1] Les lettres placées en avant des diverses substances citées dans ce tableau, indiquent les auteurs qui en ont déterminé la pesanteur spécifique. Hy., Haüy; H., Haidinger; B., Breithaupt; R., Rondelet; B., Brisson; N., Naumann; D. B., De La Bèche.

D. B. Hypersthénite (Cocks' Tor, Dartmoor)	2,88	R. Granite (Normandie)	2,66
R. Granite, vert[1] (Vosges)	2,85	D. B. Granite à mica rare (Écosse)	2,62
R. Granite, gris (Bretagne)	2,74	D. B. Granite (Heytor, Devonshire)	2,66

Pesanteurs spécifiques de quelques coquilles.[2]

Terrestres.

Helix Pomatia	2,82	Auricula bovina	2,84
Bulimus decollatus	2,85	Helix citrina	2,87
Bulimus undatus	2,85		

D'eau douce.

Unio cardisce	2,79	Paludina	2,82
Unio cicatricosus	2,80	Cyrena Sumatrensis	2,82

Marines.

Argonauta tuberculosus	2,43	Chiton	2,79
Nautilus umbilicatus	2,64	Pholas crispata	2,82
Janthina communis	2,66	Cytherea maculata	2,83
Lithodomus Dactylus	2,67	Bulla	2,83
Teredo (grande espèce des Indes orientales)	2,68	Voluta musica	2,83
Haliotis tuberculatus	2,70	Cassis testiculus	2,83
Cyprina vulgaris	2,77	Strombus gibberulus	2,83
Mytilus bilocularis	2,77	Pyrula melongena	2,84
Strombus gigas	2,77	Tellina radiata	2,85[3]

[1] N'est-ce pas un grünstein ?

[2] Les pesanteurs spécifiques de ce tableau ont été déterminées par M. De La Bèche.

[3] Il est impossible que le lecteur ne remarque point que, tandis que les coquilles terrestres ont en général la plus grande pesanteur spécifique, la densité des coquilles marines pélagiennes est de beaucoup la plus petite. Le but de cette différence est évident. Les coquilles terrestres ont à lutter avec tous les changements de climat, et à résister aux actions atmosphériques; elles doivent en même temps être minces pour pouvoir facilement se transporter d'un lieu à l'autre; elles ont en conséquence une grande densité. Les habitudes des Argonautes, des Nautiles et autres mollusques analogues exigent des coquilles de la plus grande légèreté compatible avec une certaine solidité; la pesanteur spécifique de ces coquilles est en conséquence peu considérable. La plus grande densité observée est celle d'un *Helix;* la moindre celle d'un Argonaute : la coquille de la Janthina, mollusque pélagien, est une des moins denses. La pesanteur spécifique de toutes les coquilles terrestres observées est plus grande que celle du marbre de Carrare; elle approche en général de celle de l'Arragonite. Les coquilles d'eau douce et marines, à l'exception des Argonautes, Nautiles, Janthines, Lithodomes, Haliotides, et d'un grand Taret cristallin, rayonné, des Indes orientales, sont plus denses que le marbre de Carrare. Ce marbre et l'Haliotis ont la même pesanteur spécifique.

Avant de procéder à l'examen du sujet qui nous a conduit à rapporter les tableaux ci-dessus, jetons un regard sur les données que ces tableaux nous offrent, pour calculer d'une manière grossière la densité moyenne de la croûte minérale de la terre. On estime en général cette densité à 2,5. Il paraît pourtant que ce chiffre est un peu au-dessous de la réalité, et que 2,6 en approcherait davantage. Si nous prenons une profondeur moyenne de cinquante milles sous le lit de la mer et la surface de la terre ferme, il est probable que les gneiss, micaschistes, amphibolites, granites, grünsteins et autres roches analogues formeront les huit dixièmes de toute cette masse minérale. Or la pesanteur spécifique de toutes ces roches est au-dessus de 2,6. Si l'on admet que le granite, le gneiss et le micaschiste entrent dans la masse ci-dessus pour 0,5, la pesanteur spécifique moyenne de cet ensemble sera environ de 2,7. Les grünsteins, trapps, euphotides et serpentines pris pour 0,1, ont une densité moyenne de 2,76. La pesanteur spécifique moyenne des autres roches ci-dessus, telles que l'amphibolite, les schistes chloriteux, le quarzite, les schistes argileux, ne peut être estimée au-dessous de 2,65; peut-être même que des calculs détaillés prouveraient que ce chiffre est trop faible, mais en le prenant comme exact, on aurait 2,695 pour la densité moyenne des huit dixièmes de la croûte minérale terrestre. La densité des deux dixièmes restants est très-variable; quelques calcaires, tels que la craie et les oolites, sont comparativement légers, comme aussi certains grès, tels que ceux du groupe crétacé. Quelques laves, ayant coulé à l'air libre, ou sous une petite profondeur d'eau, n'ont aussi qu'une petite pesanteur spécifique relative; il en est de même des domites, trachytes et roches analogues. On doit comprendre dans ces roches peu denses les végétaux fossiles formant les lignites et la houille. Nous ne nous éloignerons pas beaucoup de la vérité, en supposant que ces roches relativement légères forment un dixième de l'écorce minérale, et que leur densité moyenne est de 2,45. Le dixième restant doit avoir une pesanteur spécifique de 2,67 au moins. La densité moyenne du vieux grès rouge et de la grauwacke est, d'après le tableau ci-dessus, de 2,71. Or ces roches et d'autres d'une même structure minéralogique, quoique peut-être d'âge différent, telles que plusieurs des couches des Alpes, de l'Oural, de l'Himalaya et des autres grandes chaînes de montagnes, constituent une grande partie de ce dernier dixième. La densité moyenne des divers calcaires compactes ne peut être de beaucoup au-dessous de 2,66; ils ne sont pas moins denses lorsqu'ils sont remplis de coquilles; ils seront au contraire spécifiquement plus pesants, ainsi qu'on le voit par le tableau des pesan-

teurs spécifiques des coquilles. Il faut ajouter les basaltes et roches analogues, qui occupent souvent dans l'Inde, par exemple, des surfaces considérables, et qui sont fréquents dans plusieurs régions volcaniques; la densité moyenne du basalte ne peut être considérée comme au-dessous de 2,8. Admettons que les grauwackes et roches analogues entrent pour 0,4 dans le dixième de la masse de l'écorce terrestre dont nous nous occupons; les calcaires compactes pour 0,2; les grès compactes pour 0,3 (nous supposerons à ceux-ci une densité moyenne de 2,6) et les roches basaltiques pour 0,1; et nous aurons, pour ce dixième, une pesanteur spécifique moyenne de 2,67. Nous arrivons ainsi à trouver 2,59 pour la densité moyenne de l'écorce minérale du globe. Que si nous tenons compte de l'augmentation de densité que doivent éprouver les parties inférieures de cette écorce par la pression des masses supérieures, et si nous ajoutons que dans les calculs ci-dessus nous avons plutôt diminué qu'exagéré les proportions des roches les plus denses, nous arriverons à conclure que 2,6 est probablement le chiffre le plus approchant de la véritable pesanteur spécifique de l'écorce terrestre.[1]

Laissant maintenant la digression à laquelle nous avons été entraîné; il est évident que des volumes égaux des diverses substances citées dans les tableaux ci-dessus, ne seront point transportés à des distances égales par un courant d'eau d'une vitesse donnée, toutes choses étant égales d'ailleurs. Si nous supposons que des volumes égaux et ayant même forme de mica, de quarz, de feldspath et d'amphibole, soient suspendus mécaniquement dans une eau courante, et qu'ils se déposent successivement au fond de son lit, l'amphibole sera la première à s'arrêter, puis le mica, le quarz, et enfin le feldspath. Si des volumes égaux d'*Helix citrina*, *Strombus gigas* et *Argonauta tuberculosa* sont entraînés sous une même forme de petits grains, tels que nous en observons fréquemment dans la nature, les fragments d'*Helix* seront déposés les premiers, puis ceux du *Strombus*, et enfin ceux de l'*Argonauta*. Les pesanteurs spécifiques des coquilles, rapportées ci-dessus, ne sont point assez nombreuses pour qu'on puisse en tirer quelque conclusion générale; mais elles n'en semblent pas moins indiquer que si des fragments égaux en volume et en forme de coquilles terrestres, d'eau douce et marines étaient tenus en suspension mécanique dans une eau courante, et qu'ils tombassent successivement au fond de la mer ou d'une rivière, les coquilles terrestres seraient déposées avant les autres.

[1] J'ai l'intention d'approfondir ailleurs ce sujet; et j'espère, à l'aide d'un plus grand nombre de données, et en entrant dans plus de détails que ne le comporte la nature de ce volume, arriver à une approximation plus sûre et plus exacte.

Si nous supposons qu'une rivière transporte à la mer des volumes égaux de coquilles terrestres, de quarz et de feldspath, ce dernier sera transporté à de plus grandes distances, tandis que les coquilles seront déposées le plus près du rivage et le quarz occupera le milieu entre les deux autres substances : en sorte que dans un tel état de choses, le dépôt qui en résultera, tout en admettant un certain mélange des trois substances déposées, sera calcaire près du rivage, siliceux un peu plus loin, et argileux à sa plus grande distance de terre.

Que si les matériaux charriés par une rivière très-chargée de détritus, se composaient de sélénite, de feldspath, de quarz, de spath calcaire, de talc, de chlorite, de mica, d'amphibole, de péridot et de grenats à volumes égaux et formes semblables, ces diverses substances tendraient à se déposer dans un ordre inverse à celui dans lequel nous venons de les énumérer. Si donc une rivière coule sur une surface de granite commun, composé de quarz, de feldspath et de mica, et que sa vitesse soit telle qu'elle suffise au transport des détritus jusqu'à la mer, nous devons nous attendre à trouver les matières micacées dominantes près de la terre, tandis que les fragments feldspathiques abondent surtout à la limite extérieure du dépôt. Les personnes qui se sont occupées des détritus charriés par les rivières, ont dû remarquer que telle est en effet la disposition que tendent à prendre les dépôts provenant de surfaces granitiques, en tenant compte toutefois des accidents dus à la diversité de forme et de volume des fragments transportés. Le mica tend à se déposer le premier; mais comme son volume est en général moindre que celui du quarz ou du feldspath, il est charrié aussi loin et quelquefois même plus loin que les autres minéraux, ainsi que cela doit arriver toutes les fois que le volume ou la forme des fragments suffisent à contrebalancer ou vaincre les effets dus à la différence des pesanteurs spécifiques.

Les grès sont fréquemment micacés, et souvent ils sont rendus schisteux par l'abondance des paillettes de mica; la plus grande partie de ces grès sont siliceux. On a vu que des volumes égaux de mica et de quarz suspendus dans l'eau ne descendent pas au fond dans le même temps, toutes choses étant égales d'ailleurs. Ne pouvons-nous point arriver par là à une explication satisfaisante de ces alternances des grains de mica et de quarz, si fréquentes dans quelques terrains? Le volume des paillettes de mica est souvent, dans ces cas, moindre que celui des grains de quarz; mais en supposant que le volume des fragments soit le même, et qu'une masse liquide, telle que la mer, reçoive à des intervalles égaux par le charriage

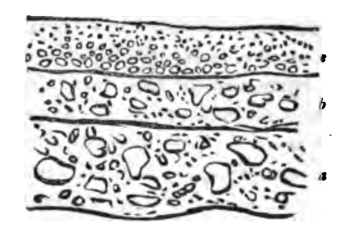
d'une rivière un détritus ainsi mélangé, il tendra à se former des alternances de mica et de quarz, car le premier transport de détritus sera déposé jusqu'à une certaine distance de terre avant que le suivant arrive à la mer. Il ne nous faut pas oublier pourtant que la forme des fragments jouera un grand rôle dans un dépôt de cette nature. Quoique le mica soit spécifiquement plus lourd que le quarz, la forme aplatie du premier, et celle arrondie qu'ont les grains détritiques du dernier, ne permettraient point au mica de descendre dans l'eau d'une quantité égale à celle du quarz dans un temps égal, quand même le volume des fragments serait le même. Si plusieurs substances minérales sont en même temps à l'état de suspension mécanique dans un même liquide, la nature du dépôt provenant d'un tel mélange dépendra des relations de densité, de forme et de volume de chaque substance. Arrivés au fond, les petits fragments de mica se coucheront sur leur surface plate, quand même ils seraient tombés sur leur bord, et il en résultera une structure lamellaire telle que celle que l'on voit dans les grès micacés.

La différence de pesanteur spécifique doit nécessairement avoir une grande influence sur le mode de dépôt des détritus plus grossiers provenant de différentes roches. Ainsi des fragments égaux et de même forme d'oolite de Bath et de calcaire carbonifère ne seraient point transportés à des distances égales par des forces égales; l'oolite de Bath serait portée à une plus grande distance. Des volumes égaux de trachyte, granite et basalte, à circonstances égales, seraient charriés à des distances inégales. Si des volumes égaux de granite de Normandie ou d'Heytor (en Cornouailles) et de schiste de Stonesfield (de Stow-in-the-Wold) étaient charriés par un même courant d'eau, leur tendance à se déposer serait égale; et la différence dans le moment de leur dépôt tiendrait à la forme des fragments. La plus grande partie des roches granitiques serait transportée plus loin que plusieurs des calcaires compactes (des fossilifères surtout, tels que le marbre de Forest), que certains schistes argileux, que plusieurs grauwackes, et que tous les basaltes, grünsteins, hypersthénites et euphotides.

Mais quoique la pesanteur spécifique des divers minéraux et roches ait une grande valeur, et qu'elle puisse fournir, à volumes égaux, des données importantes pour la recherche du lieu de l'origine des fragments composant une roche détritique, on arriverait à des conclusions fort erronées, si l'on faisait abstraction de la différence dans la forme et le volume des fragments, lorsque cette différence existe. Nous devons nous rappeler en premier lieu, que lorsque une même force agit sur différents corps en mouvement, elle commu-

nique à ces corps des vitesses qui sont en raison inverse de leur masse, ou de la quantité de matière dont ils sont composés. En conséquence, lorsque nous voudrons calculer les forces qui peuvent avoir transporté les matériaux de quelques couches de conglomérats ou de grès, il nous faudra faire attention au mélange de ces matériaux dans la masse de la roche et juger comment a dû agir la force de transport; examiner si elle paraît avoir été capable de pousser devant elle tous les fragments, grands et petits (les plus ténus se trouvant comme arrêtés dans le remous produit par les blocs volumineux, qui ne pouvaient se mouvoir avec une égale vitesse), ou bien si les matériaux détritiques se sont déposés d'après leur pesanteur spécifique, leur forme et leur volume. Lorsque nous découvrons des blocs arrondis, ou des cailloux volumineux, mêlés pêle-mêle avec des détritus beaucoup plus fins (comme en *a*, fig. 7),

Fig. 7.



nous pouvons en conclure que la vitesse qui transportait la masse fragmentaire était fort grande et capable de tenir, pendant un certain temps, en suspension mécanique les blocs plus volumineux; que si dans de tels conglomérats les cailloux sont disposés d'après leurs volumes, formes et densités respectifs, rien ne nous prouve qu'ils aient jamais été tenus en suspension dans l'eau qui les transportait; il se peut, dans ce cas, qu'ils n'aient avancé qu'en roulant au fond du lit de la rivière.

Ces deux modes de distribution des fragments détritiques peuvent quelquefois s'observer à la fois dans les rivières sujettes à de fortes crues d'eau; le dépôt résultant de ces crues soudaines consiste en un mélange de gros et petits cailloux, de sable et de vase semblable à celui représenté en *a* et *b* (fig. 7); mais lorsque les eaux n'ont plus que la force nécessaire pour rouler les cailloux sur le fond de leur lit, elles tendent toujours à charrier plus loin les détritus plus fins qui sont exposés à l'action du courant par le déplacement des cailloux dont l'immobilité pourrait les protéger. Les parties plus

ténues étant ainsi entraînées, les cailloux plus volumineux se distribuent au fond du lit de la rivière, comme en *c*. Sans doute que la même tendance à la séparation des matières suivant leur volume a lieu lorsqu'elles sont toutes en suspension mécanique dans une même masse d'eau; mais le résultat est alors tellement différent que les fragments de tout volume sont charriés ensemble. Nous ne voulons pas conclure de ce transport commun que la vitesse acquise des blocs de diverses dimensions soit la même; car l'impulsion première aura communiqué à ces différents corps des vitesses inégales; vitesses qui, ainsi que nous l'avons dit plus haut, sont en raison inverse des masses. Il ne peut y avoir aucun doute que les matériaux tenus en suspension mécanique dans l'eau ne soient transportés à des distances proportionnées à leur volume, leur forme, leur densité; cependant, dans les cas où une accumulation de matières détritiques ou autres est soudainement enlevée, pour ainsi dire, par une grande masse d'eau qui la tient pour quelque temps en suspension mécanique, il est curieux d'observer quel mélange confus présente le dépôt qui résulte de ce transport, là où la grande rapidité du courant vient à cesser. Lorsqu'on ne voit que la surface d'un tel dépôt, on peut souvent être tenté de croire que toute la masse en est composée de gros cailloux; car on ne voit guère autre chose sur une telle surface. Mais des coupes artificielles ou naturelles dans la masse du dépôt laissent voir en général un mélange confus de cailloux et de sable distribués pêle-mêle, sans égard à la densité, à la forme ou au volume. Ces assemblages confus de matières de transport semblent toujours provenir d'une action violente, et avoir été déposés par des eaux abondamment chargées de détritus des dimensions les plus variables. Quoique l'ensemble d'une masse d'eau ainsi saturée de détritus se meuve nécessairement avec une grande rapidité, les mouvements à l'intérieur de la masse seront très-différents, d'après la confusion qui résultera de la vitesse inégale des matériaux transportés, et d'après les remous et le tourbillonnement des substances tenues en suspension mécanique, dus à l'inégalité de vitesse de ces substances; en sorte que lorsqu'une telle masse est soudainement arrêtée, ainsi qu'il arrive souvent dans les grandes crues d'eau, il en résulte un mélange sans aucun ordre de blocs de toutes dimensions et de toute espèce de roches. La surface de ces dépôts est nécessairement entamée par les eaux, et les détritus plus fins sont entraînés; car après leur dépôt l'eau de la rivière, avant de se retirer de leur surface, y exerce une action puissante, la même précisément que sur le fond de son lit.

Lors donc qu'en examinant des assises de conglomérats, nous

trouvons qu'elles contiennent des fragments de diverses roches, ou d'une même roche, mais distribués sans égard à la densité, à la forme et au volume, nous pourrons conclure que ce dépôt a été dû à l'action violente d'une crue d'eau soudaine. Au contraire, lorsque les cailloux et détritus d'une roche agglomérée sont à peu près dans l'ordre qu'ils affecteraient s'ils étaient déposés d'une manière comparativement lente, nous conclurons que si ces fragments ont été tenus en suspension mécanique dans l'eau, ils n'ont point été jetés violemment à la place qu'ils occupent, mais qu'ils se sont séparés graduellement de l'eau qui les charriait à mesure que la vitesse de cette eau devenait moins grande. On peut observer souvent que les fragments des roches préexistantes sont plus anguleux dans les assises qui ne présentent aucun ordre dans leur distribution, que dans celles où les fragments sont de dimensions plus uniformes et distribués d'une manière plus correspondante à leurs densité et volume respectifs.

Ces remarques ne peuvent s'appliquer qu'aux conglomérats distribués sur des étendues considérables, ou bien à ceux qui se trouvent dans des positions qui excluent la possibilité de leur formation par un dépôt littoral. Des plages de conglomérats, composés de fragments de volumes très-différents, peuvent se former facilement le long des côtes, surtout lorsqu'elles sont abruptes.

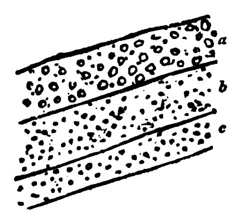
Fig. 8.

Soit *ab* (fig. 8) le niveau de la mer, et *c* un escarpement qui, par sa désagrégation ou par l'action de la mer, donne lieu à des fragments de diverses dimensions qui tombent dans l'eau à sa base. Le mouvement des vagues tendra à les disposer plus horizontalement que s'ils tombaient sur la terre ferme, et d'après l'action inégale des vagues et les dimensions variées des fragments, la distribution ne peut qu'en être fort confuse; un tel dépôt présentera beaucoup d'analogie avec celui que nous avons dit plus haut devoir

résulter de l'action soudaine et violente d'une masse d'eau abondamment chargée de détritus de toutes dimensions. Par la nature des choses pourtant ces dépôts littoraux ne pourraient s'étendre au loin dans une direction perpendiculaire à la côte sur laquelle ils ont été produits. Nous pouvons donc les distinguer de ceux qui se sont produits sur de grandes surfaces, là où il n'y a aucun motif de croire qu'ils résultent de la démolition d'un escarpement, soit par des causes atmosphériques ou par l'action de la mer.

De même que nous pouvons conclure qu'un dépôt étendu et confus est le résultat d'une action violente et passagère, de même nous pouvons regarder un conglomérat ou un grès dans lequel le volume des cailloux ou des grains est sensiblement uniforme dans chaque assise comme provenant d'un cours d'eau plus régulier et continué, qui a tenu ces détritus en suspension mécanique. Il doit nécessairement y avoir une grande uniformité dans les lits de conglomérats produits par une vitesse donnée de l'eau qui a transporté les cailloux qui les composent; car une vitesse donnée ne peut transporter que des cailloux d'une certaine densité, forme et volume, laissant en arrière tous les fragments plus denses, d'un volume plus considérable, ou d'une forme moins facile à déplacer, tandis que tous les détritus d'un transport plus aisé seront charriés à de plus grandes distances. Quelques particules plus ténues de détritus doivent se mêler aux plus grossières, lorsque celles-ci se déposent par une diminution dans la vitesse du cours d'eau; car le mouvement de l'eau sera tellement retardé autour des surfaces libres des gros fragments, qu'il ne sera plus capable de transporter les détritus moins volumineux, qui devront s'introduire dans les intervalles des cailloux déjà déposés, aussi bien que dans les endroits où il se formera de petits remous. Les assises qui résulteront d'un transport semblable, présenteront une uniformité correspondante à celle de la vitesse du cours d'eau. Si des changements avaient lieu dans cette vitesse, des changements correspondants se retrouveraient dans les assises déposées, et nous aurions des couches qui, quoique présentant une certaine uniformité, différeraient entre elles par le volume des fragments, ainsi qu'on le voit dans les couches *a*, *b* et *c*, figure 9.

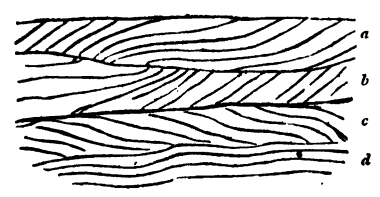
Fig. 9.



La plus grande partie des roches d'origine mécanique, les grès surtout, portent des traces de l'inégalité de l'action de l'eau qui les a déposées.

La figure 10 représente une coupe très-fréquente dans la nature, et elle indique une action de l'eau sur les molécules du fond de

Fig. 10.



son lit, action tout autre que celle qui se manifeste dans un dépôt tranquille de matières tenues en suspension mécanique. Nous pouvons supposer que la couche de grès *d* provient d'un dépôt tranquille de grains de sable transportés par un courant qui les tenait en suspension ; les feuillets en étant sensiblement horizontaux. Mais ce ne peut être là le cas pour les couches *c*, *b* et *a*, dans lesquelles les grains de sable doivent avoir été roulés les uns par-dessus les autres au fond du lit du cours d'eau ; car la disposition des feuillets de ces couches ne peut s'expliquer par un dépôt tranquille de grains de sable tombant par la seule action de la pesanteur, et restant ensuite à leur place jusqu'à ce qu'ils aient été recouverts par d'autres grains tombés de la même manière. Il importe de bien distinguer les plans obliques ou ondulés des feuillets que nous avons ici, d'avec les plans de clivage dont nous nous occuperons plus tard ; mais lorsqu'on est assuré que les lignes obliques dans des couches telles que *a*, *b* et *c* ne sont point des traces de plans de clivage, on peut conclure que ces couches ne résultent point du dépôt tranquille d'un détritus tenu d'abord en suspension dans un cou-

rant d'eau, et tombé ensuite au fond dans une eau tranquille; elles doivent avoir été formées, au contraire, par l'action d'une eau courante poussant les grains de sable après qu'ils étaient tombés au fond de son lit. Les variations dans la force de transport sont marquées par des changements dans la forme et la direction des traces des feuillets, tandis que les grandes interruptions du dépôt sont exprimées par les lignes plus suivies, qui sont les traces des plans partageant le conglomérat en couches telles que *a*, *b* et *c*, figure 10.

Une surface légèrement ondulée n'est point une chose rare dans les roches d'origine mécanique; elle peut résulter de la friction de l'eau sur un fond arénacé, ainsi qu'on peut l'observer fréquemment sur les sables laissés à découvert par le reflux; ou bien sur les terrains de sable nu, sur lequel, ainsi que M. Lyell l'a remarqué[1], le vent a une action analogue à celle des eaux sur le fond de leur lit. L'effet des vagues, de celles surtout qui agissent sur le fond avec une force capable d'en déplacer les molécules, est de former de petites élévations semblables à la surface d'une mer clapoteuse; les molécules du fond sont, en effet, poussées en avant par le frottement, tandis que les petites lignes d'élévation ainsi produites sont modifiées par le mouvement de vibration qui a lieu en même temps dans l'eau. Ces surfaces ainsi modifiées par la vibration ne peuvent se trouver qu'à de petites profondeurs, c'est-à-dire jusqu'aux limites de l'action de la vibration, tandis que les petites lignes d'élévation dues au simple frottement d'une masse d'eau sur du sable non résistant, peuvent se produire à toutes les profondeurs auxquelles l'eau peut se mouvoir avec une vitesse suffisante.

[1] *Principles of Geology*, vol. 3, p. 176.

CHAPITRE V.

Il serait fort difficile de concevoir que des fragments détritiques, surtout s'ils sont réduits à une grande ténuité, et par suite dans les circonstances les plus favorables à l'action des affinités chimiques, pussent se trouver juxtaposés et conservés humides ou même trempés d'eau pendant de longues périodes de temps, sans subir quelque modification chimique. L'abondance des cristaux de sélénite et des pyrites de fer dans des argiles qui résultent évidemment du dépôt de matières très-atténuées suspendues mécaniquement dans l'eau, prouve bien que l'affinité chimique a eu assez d'énergie, dans ces argiles, pour vaincre la force de cohésion qui devait exister jusqu'à un certain point entre les molécules de la matière déposée.

De tels effets sont nécessairement très-variables de leur nature. Il serait bien difficile de trouver deux dépôts quelconques provenant de fragments détritiques atténués suspendus mécaniquement dans l'eau, qui fussent absolument identiques. Les changements chimiques de ces dépôts se produiront donc sous l'influence de circonstances différentes. Les roches doivent subir aussi des modifications chimiques importantes par la filtration de l'eau. Celles qui, par suite de changements géologiques dans le niveau relatif des mers et des continents, se trouvent émergées, sont dans des conditions diverses de celles qui restent immergées. Il n'y a peut-être pas une des sources qui peuvent être regardées comme résultant de la filtration de l'eau atmosphérique à travers les roches, qui ne contienne en solution quelque substance minérale, dont elle doit s'être chargée pendant sa circulation souterraine. Or, quoique la quantité de ces substances minérales soit peu considérable, eu égard à la composition d'une source d'eau déterminée, cependant si nous prenons en considération la quantité de matières solubles contenues dans les sources d'une région quelconque de 1000 milles carrés, et si nous nous rappelons que l'action de l'eau sur les roches traversées a duré un grand nombre de siècles, il nous sera facile de concevoir que les modifications chimiques ainsi produites doivent être plus importantes qu'on ne le croirait d'abord. Nous pourrons conclure aussi que les parties plus solubles d'une roche tendront continuellement à être entraînées, lorsqu'elles se trouveront exposées non-

seulement à l'action directe des agents atmosphériques, mais encore à la filtration de l'eau de pluie, en sorte que la plus grande partie des roches pourra bien difficilement résister à de telles actions chimiques, et conserver sa composition originaire, surtout lorsque ces roches sont exposées à l'action atmosphérique.

Le docteur Turner a démontré que dans la décomposition des roches feldspathiques qui passent à l'état de kaolin, la quantité de silice entraînée en solution est énorme. Il attribue cette perte à la solubilité de la silice, lorsqu'elle se trouve exposée à l'action combinée de l'eau et d'un alkali au moment où elle se dégage de son état de combinaison dans le feldspath. Le même auteur estime que « deux proportions d'alumine qui, dans le kaolin, sont combinées « avec 3½ proportions de silice, correspondaient dans le feldspath « dont ce kaolin est dérivé, à 12 proportions de silice et 1 de po- « tasse.[1] »

La plus grande partie des roches d'origine mécanique a été déposée dans la mer. Nous pourrions donc nous attendre généralement à trouver les sels dominants dans l'eau de la mer disséminés dans ces roches de manière à ce qu'on puisse facilement les y reconnaître. Il n'en est pourtant pas ainsi : et il est difficile de concevoir comment ces matières salines ont pu disparaître d'une manière aussi générale. On pourrait supposer qu'après l'émersion, l'eau de pluie, qui tend à s'infiltrer dans ces roches, a pu en entraîner en dissolution une grande proportion des matières salines. Ce serait là une opération lente, mais ses effets n'en seraient pas moins assurés, si elle était continuée pendant une longue série de siècles. Cependant cette hypothèse ne rend pas compte de l'absence du sel marin dans les roches inférieures au niveau de la mer.

L'ensemble des matières solubles portées à la mer par les rivières, et provenant de la filtration de l'eau à travers les roches, doit être très-considérable, surtout si l'on mesure le temps par siècles et non par années. Les rivières qui tiennent en suspension des quantités considérables de détritus très-atténués, doivent nécessairement contenir aussi des matières en solution. Si la rivière n'était point saturée par les solutions entraînées des roches à travers lesquelles ont filtré ses sources, l'eau agirait probablement sur les détritus qu'elle tient en suspension; les parties calcaires seraient les plus attaquables par cette action de l'eau, ainsi que les molécules très-atténuées des roches feldspathiques.

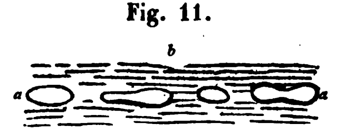
Tous ces matériaux doivent être déposés quelque part. Les diverses

[1] *On the Chemistry of Geology; London and Edinburgh Phil. Mag.*, *July* 1833.

substances ainsi transportées à l'océan doivent réagir les unes sur les autres, et toutes sur les contenus salins de la mer; il ne peut manquer de se produire des dépôts chimiques, sur la nature desquels nous n'avons que des données imparfaites dans l'état aetuel de nos connaissances sur la quantité de matières charriées, et sur les combinaisons dont elles sont susceptibles. Les dépôts chimiques que nous sommes habitués à étudier dans l'acte même de leur formation, pour ainsi dire, ne se produisent point dans des circonstances analogues; ils sont principalement calcaires et dérivés des eaux soit des rivières, soit des lacs d'eau douce, ou des sources thermales; le petit nombre de dépôts naturels de silice et de gypse qui se forment actuellement, ont lieu surtout dans des eaux thermales. Mais nous ne savons presque rien relativement aux roches de formation chimique qui peuvent se former maintenant dans la mer; et pourtant toute la matière soluble qu'y apportent les rivières doit donner lieu à quelque résultat, indépendamment même des substances solubles répandues dans la mer, par les éruptions des volcans sous-marins.

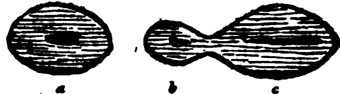
On voit aussi dans les roches d'origine mécanique certaines agrégations fort remarquables qui doivent avoir été produites par l'attraction mutuelle des molécules qui les composent. On découvre souvent dans des argiles calcarifères des nodules ou rognons plus calcaires que les autres parties de la roche, et que l'on voit facilement ne point être des cailloux arrondis avant leur dépôt, quoique de loin ils puissent en présenter l'apparence. Nous prendrons pour exemple des rognons de ce genre que l'on rencontre dans le lias de Lyme Regis : de tels corps sont au reste assez communs dans plusieurs autres localités.

Fig. 11.



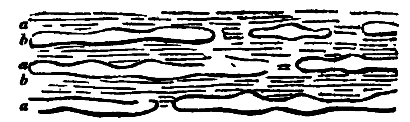
Les rognons *aa* (fig. 11) sont alignés parallèlement à la stratification générale, et à une petite distance au-dessus du calcaire du lias, qui alterne avec des marnes et des schistes marneux, et constitue la partie inférieure de la formation dans cette localité. Or ces rognons contiennent une plus grande quantité de carbonate de chaux, que les marnes et schistes marneux qui les entourent. Nous pourrions en conclure que ce sont des concrétions concentriques; mais il n'en est pas ainsi.

Fig. 12.



Si on examine l'intérieur de ces rognons, on voit qu'ils sont feuilletés comme dans la figure 12, et les feuillets en sont dirigés comme la masse des roches stratifiées dont ils font partie. Les feuillets des rognons sont parfaitement parallèles aux feuillets des marnes et des schistes marneux qui les entourent, et on ne peut guère douter qu'ils n'aient jadis été la continuation les uns des autres. Les molécules de la matière calcaire se sont séparées de la masse des marnes, pour se réunir ainsi que nous les voyons maintenant. Si on partage ces rognons par leur centre parallèlement aux feuillets, on trouve en général quelques fossiles, tels qu'un poisson, une ammonite, un nautile, ou bien un fragment de bois, qui paraissent avoir été le centre d'attraction vers lequel se sont réunies les particules calcaires. On serait porté à croire, d'après cette circonstance, que la présence d'un fossile ou autre corps étranger a toujours été nécessaire à la production des rognons; mais quoique ces corps se trouvent communément dans le centre des rognons, ils n'y sont pas constamment. On trouve plusieurs rognons sans fossiles au centre, et dans d'autres de petites ammonites et autres coquilles sont distribuées d'une manière uniforme dans la masse du rognon. Il s'ensuit que, quoique des fossiles ou autres corps étrangers puissent avoir contribué, et aient même contribué suivant toute probabilité à la concentration des molécules calcaires, l'existence de ces corps n'était pas une condition essentielle de cette concentration. L'agrégation des particules calcaires s'est opérée dans les rognons de manière à conserver la structure feuilletée originaire. On ne se trompera probablement pas beaucoup, si l'on suppose que des assises particulières du dépôt, sans contenir assez de carbonate de chaux pour former des lits calcaires suivis, en contenaient trop pourtant pour qu'il pût rester disséminé dans la marne sans s'efforcer de se réunir en petites masses. Cette manière de voir est appuyée par la disposition que présentent, dans la même localité, quelques-unes des assises supérieures du calcaire du lias. Il est évident que ces assises ne sont qu'une suite de rognons aplatis : ces rognons, à la vérité, ne sont point généralement feuilletés; ils sont compactes, comme si l'agrégation des particules y avait été plus complète. La figure 13 donne une idée de ces couches imparfaites; *aaa* y figurent des calcaires argileux; *bb* des schistes marneux.

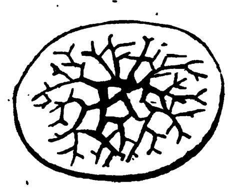
Fig. 13.



Il n'est point de géologue qui n'ait eu occasion d'observer cette dernière structure dans des roches d'origine mécanique ; on la voit même dans des roches qui ne sont nullement calcaires, quoiqu'elle soit plus fréquente là où le carbonate de chaux est mélangé aux autres substances minérales. Cette structure se rencontre communément dans plusieurs grès, et elle est évidemment le résultat de l'attraction mutuelle de certaines molécules après leur dépôt. La structure feuilletée des rognons se voit quelquefois aussi dans les grès siliceux ; l'agrégation des molécules y est due au même principe que dans les rognons du lias ; le ciment des rognons y est quelquefois calcaire, quelquefois siliceux.

Les lits de rognons non feuilletés, mais composés pourtant de substances qui se sont séparées des parties constituantes d'une roche d'origine mécanique après son dépôt, sont communs dans plusieurs couches. Les rognons de fer carbonaté des houillères paraissent s'être ainsi produits ; ces rognons contiennent aussi quelquefois des débris organiques, mais comme il en existe une infinité sans aucune trace de ces débris, il ne paraît pas que ce soit là une circonstance essentielle à leur formation. La matière des rognons, après sa séparation d'avec la masse de la roche, paraît quelquefois avoir subi un retrait par le desséchement, et il en est résulté des fissures qui ont été remplies plus tard par des infiltrations calcaires. La figure 14 représente une de ces concrétions, appelées communément *Ludus Helmontii ;* les parties extérieures se sont consolidées d'abord, en

Fig. 14.



sorte que pendant le desséchement de l'intérieur la masse interne a été obligée de se contracter vers la circonférence et produire des

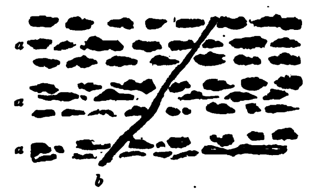
fentes dont la plus grande largeur doit nécessairement se trouver vers le centre : le remplissage de ces fentes a généralement eu lieu graduellement de la surface au centre des parois ; des enduits successifs de carbonate de chaux sont recouverts l'un par l'autre jusqu'à ce que les côtés de la fente se rencontrent, et les cavités irrégulières qui résultent souvent de ce mode de remplissage, contiennent une matière très-cristalline. On trouve fréquemment dans plusieurs argiles et marnes des rognons analogues qui ne présentent aucune trace de structure feuilletée ou concentrique.

M. Babbage a signalé une agrégation de particules siliceuses qui se forme accidentellement dans la préparation de l'argile employée dans les fabriques de porcelaine ; et cet accident peut être regardé comme donnant une explication de ce qui se passe lors de la séparation, par affinité, des parties très-atténuées d'un dépôt détritique qui a été transporté en suspension mécanique par l'eau. Dans le procédé ordinaire de la préparation des matières plastiques pour les poteries, on mélange dans l'eau des silex grillés et broyés avec une certaine proportion de matière argileuse, et il se produit un dépôt dans lequel les molécules de la silice sont distribuées d'une manière régulière parmi celles de l'argile. Si cette pâte est employée d'abord, les particules siliceuses restent ainsi disséminées ; mais si on la laisse longtemps en repos, la silice se concentre en petites masses, et la pâte ne peut plus être employée à la fabrication de la porcelaine.[1]

M. Babbage appelle l'attention sur ce fait, dans lequel il trouve l'explication de la formation des silex de la craie ; il paraît y avoir en effet une grande analogie entre les deux opérations. La silice paraît s'être séparée de la grande masse calcaire et s'être concentrée, dans plusieurs cas, autour des débris organiques. Cependant, de même que nous l'avons vu plus haut pour les agrégations calcaires, le fait de la présence d'un corps étranger dans les silex de la craie, quoique fréquent, n'est pourtant pas universel, et l'on peut admettre que ce noyau central n'est point nécessaire à la production des rognons de silex. Une cause quelconque a dû déterminer l'accumulation de la matière siliceuse autour d'un point particulier, mais cette cause a pu ne pas être un débris organique ; son action a dû se propager suivant le plan de la stratification, puisque les silex se présentent souvent, dans la craie, comme formant des lignes *a, a, a,* figure 15.

[1] Babbage, *Economy of Manufactures, 2nd edit.*, *p.* 50.

Fig. 15.



La séparation de la silice d'avec la masse calcaire est accompagnée d'une autre circonstance fort curieuse; on voit fréquemment dans la craie des veines de silex coupant le plan des couches (fig. 15, *b*), qui ont l'apparence de fentes remplies par la silice. La matière de ces veines est la même que celle des rognons, et on est conduit à conclure que la concentration de la silice est due, dans les deux cas, à une même cause. La régularité des lignes des silex de la craie rappelle celle des rognons calcaires dans plusieurs argiles. Il y avait probablement dans un dépôt d'un volume donné, étendu sur une surface donnée, une certaine quantité de matière siliceuse qui tendait à s'agréger en rognons, et cette tendance était augmentée lorsque des débris organiques formaient des points d'attraction. Nous avons vu que dans le cas de la préparation argileuse des fabriques de porcelaine, l'agrégation des parties siliceuses se fait dans un temps fort court, si on compare ce phénomène aux grandes opérations de la nature. La matière siliceuse, comprise dans une partie donnée du dépôt, s'est donc réunie en forme de rognons; cette opération s'est répétée à plusieurs reprises, et il en est résulté une série de lits de rognons placés les uns au-dessus des autres, parallèlement au plan de la stratification. L'agrégation purement mécanique des parties siliceuses, quelque ténues qu'on veuille les supposer, ne suffit point à expliquer tous les phénomènes observés. Dans plusieurs cas il y a eu une telle pénétration de la matière siliceuse dans les pores de certains débris organiques, qu'il est difficile d'admettre que la silice ne fût point à l'état de solution lors de son infiltration dans ces corps. Dans quelques rognons de *chert* du grès vert, et d'autres roches arénacées, on voit souvent un passage curieux de la structure arénacée à une texture indiquant une origine chimique; l'intérieur de plusieurs de ces rognons est creux, et la calcédoine mamelonnée qui en tapisse les parois, s'est produite évidemment à la manière des stalactites. Il y a eu filtration d'un liquide qui tenait en solution la silice à travers la matière arénacée pour atteindre l'intérieur du rognon, et pourtant

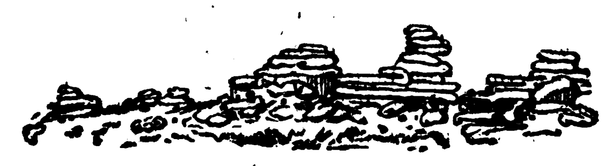
le passage de la structure arénacée à celle concrétionnée est généralement insensible. Nous aurons occasion de parler des veines de silex, lorsque nous parlerons des filons en général.

Le clivage des roches, qui peut se confondre, et qui en effet a été souvent confondu avec leur stratification, paraît dû à un arrangement des particules qui les composent postérieur au dépôt originaire ou à la formation des roches mêmes. Il est tout aussi fréquent dans quelques-unes des roches des terrains *non stratifiés,* que dans celles des terrains *stratifiés;* dans les roches résultant d'une fusion ignée, que dans celles qui proviennent d'un dépôt chimique ou mécanique. On s'attendrait à trouver des fissures de clivage dans les roches surtout qui proviennent immédiatement d'une solution, et dont la composition approche de celle d'un sel, comme le calcaire ou la dolomie, lorsque ces roches sont presque pures. Plusieurs calcaires présentent un clivage perpendiculaire à la stratification, et quelquefois le clivage donne lieu à des fragments approchant de la forme rhomboédrique de la chaux carbonatée. Quelques calcaires, même parmi ceux qui contiennent en abondance des débris organiques, présentent fréquemment tant de clivages différents qu'il devient difficile de décider, à quelque distance, lequel des plans qui partagent la roche est celui de la stratification. Sans doute que le plongement général des couches, et la disposition qu'y affectent les débris organiques (dont chaque couche contient généralement un ensemble déterminé) suffisent pour trancher cette difficulté; mais il y a néanmoins des cas dans lesquels les fentes de clivage des calcaires deviennent assez embarrassantes. Lorsque de telles fentes coupent des débris organiques de telle sorte que les deux parties du fossile soient chacune d'un côté divers de la fente, il n'y a pas d'hésitation possible; mais il arrive fort souvent, dans quelques calcaires des groupes carbonifère et de la grauwacke, que les fentes de clivage peuvent induire en erreur.

Le clivage des roches doit même être plus fréquent qu'on ne le croirait, à en juger par leurs coupes naturelles, ou par leur aspect général : car les ouvriers reconnaissent en général que les diverses roches employées dans les édifices ou autrement, ont ce qu'ils appellent un *grain*, c'est-à-dire que la roche se fend dans une ou deux directions plus facilement que dans les autres. Les carriers qui exploitent les granites sont en général très-habiles à trouver le *grain*, tandis qu'un observateur ordinaire ne voit aucune différence entre les parties du granite dans lesquelles ils enfoncent leurs coins pour partager la roche suivant des surfaces planes, et celles dans lesquelles ils disent qu'il serait inutile de travailler. Quand

une fois ils ont reconnu dans une carrière la direction du *grain*, ils enlèvent sans peine de gros blocs de granite qu'ils trouvent présenter un clivage facile suivant des directions données. C'est ce clivage qui, par une décomposition partielle du granite, a donné lieu à ce qu'on appelle les *tors* de Dartmoor dans le Devonshire, rochers qu'on prendrait pour des constructions artificielles. La figure 16 qui représente une partie du rocher nommé le *Great Staple Tor*, vu du côté Sud-Ouest, paraît plutôt figurer les ruines de quelque grand édifice, que résulter d'un effet de clivage et de dégradation du granite.

Fig. 16.



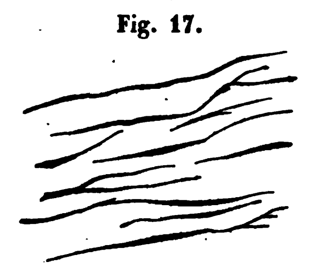
Les fissures de clivage du granite du Devonshire et du Cornouailles conservent souvent une direction donnée sur des étendues considérables; de manière à prouver que les causes qui ont donné lieu à ce clivage ont agi sur une grande échelle. La direction la plus générale est du Nord-Nord-Ouest au Sud-Sud-Est, ainsi que M. Fox l'a remarqué dans le granite de Penryn.[1]

Le clivage du granite à sa jonction avec les schistes et autres roches peut souvent induire en erreur; c'est ainsi qu'on a souvent dit que le granite du Devonshire et du Cornouailles était stratifié; on reconnaît pourtant avec un peu d'attention, que les plans qu'on croirait dus à la stratification, se confondent les uns avec les autres et ne se prolongent pas à de bien grandes distances[2], ainsi qu'on le voit dans la figure 17.

[1] *On the Granite District near Penryn, Cornwall; London and Edinburgh Phil. Mag., May* 1833.

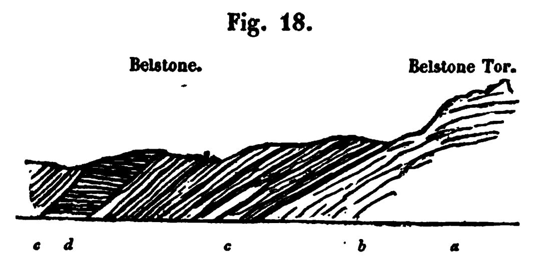
[2] Le rocher connu sous le nom de *Cheese Wring*, à la limite orientale de la masse granitique située au Nord de Liskeard, dans le Cornouailles, ressemble, vu d'un côté, à une quantité de fromages empilés les uns au-dessus des autres, c'est-à-dire qu'il offre l'aspect d'un reste de masse granitique dégradée; mais, vu du côté de l'Ouest et du Sud-Ouest, il présente une seule masse, dans laquelle les lignes de clivage ne forment nullement des surfaces arrondies.

Fig. 17.



Le granite de cette partie de l'Angleterre est porphyroïde, c'est-à-dire qu'il contient de grands cristaux disséminés de feldspath, et il arrive souvent que les fentes de clivage partagent en deux les cristaux, de manière à prouver qu'elles n'ont rien de commun avec les plans de stratification. En parlant des apparences que présentent les granites du Devonshire et du Cornouailles, nous ferons remarquer que, quoique leur postériorité à la grauwacke des mêmes contrées soit bien prouvée par plusieurs circonstances, les fentes de clivage du granite, qui de loin paraissent le diviser en couches, sont parallèles au plan de stratification des roches qui lui sont superposées; la surface supérieure des masses granitiques présente ainsi l'apparence d'une roche stratifiée sur laquelle d'autres roches stratifiées sont venues se déposer. La coupe suivante, prise au Nord de Dartmoor, servira à donner une idée de ce phénomène.

Fig. 18.



a représente le granite, qui est partagé en *b* par des fentes de clivage parallèles aux assises de la grauwacke modifiée *c*, qui lui est superposée. *d* est une masse de grünstein, comprise entre des plans parallèles à la direction de la grauwacke, et qui par suite de cette disposition se présente comme une couche intercalée dans le terrain de sédiment. *c* est un grès de la grauwacke. On ne voit en *b* qu'un seul des clivages du granite; il en existe un second, dont les fentes verticales sont dirigées, à peu de choses près, du Nord-Nord-Ouest

au Sud-Sud-Est; et un troisième, qui coupe le second à angle presque droit, en sorte que l'intersection des trois plans de clivage donne lieu à de gros blocs prismatiques aplatis. Les clivages verticaux dirigés du Nord-Nord-Ouest au Sud-Sud-Est sont les plus constants. M. Carne a remarqué que les fentes verticales du granite des côtes du Cornouailles donnent souvent à la roche une structure colonnaire.

L'attraction des particules du granite qui a donné lieu à cette division en masses prismatiques ou rhomboïdales, paraît s'être opérée après que la cristallisation des minéraux constituant la roche avait donné lieu à sa texture confusément cristalline. Si cette idée est exacte, le clivage du granite résulterait d'une action secondaire; il pourrait s'être opéré, soit pendant, soit après sa consolidation. Le clivage d'une roche, telle que le granite, diffère de celui des cristaux réguliers en ce que ces derniers peuvent être considérés comme ayant une composition chimique définie, tandis que le granite est une réunion de plusieurs substances cristallines dont chacune présente le clivage qui lui est propre comme espèce minérale. Si on admettait que la forme des blocs de granite résulte, ainsi que quelques auteurs l'ont supposé, d'une structure globulaire intérieure, on devrait s'attendre à ce que les solides résultant de la pression des masses sphériques les unes contre les autres, seraient tout autres que des rhomboèdres ou des parallélipipèdes, tels qu'on les rencontre en Cornouailles.

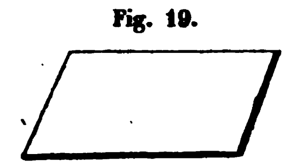
M. Mitscherlich a démontré, dans ses expériences sur le sulfate de chaux et autres substances minérales, que des différences de température peuvent donner lieu à des arrangements différents des molécules intérieures d'un corps solide, sans que sa forme extérieure en soit altérée. Des cristaux prismatiques de sulfate de nickel, exposés pendant quelques jours dans un vase fermé à la simple action des rayons du soleil, subirent un tel changement à leur intérieur, que, lorsqu'on les brisa, on les trouva composés d'octaèdres à base carrée, les formes extérieures du cristal n'étant nullement changées[1]. En réfléchissant à ces observations de M. Mitscherlich et à d'autres faits analogues, on est porté à supposer que l'action longuement continuée des variations de température, qui altère visiblement la surface des roches, peut encore opérer à leur intérieur de manière que l'attraction mutuelle y donne lieu à des arrangements différents de leurs diverses parties, sans que l'apparence générale de la roche en soit sensiblement changée. Nous pourrions donc regarder le clivage du granite comme résultant, jusqu'à un

[1] Mitscherlich, *Annales de chimie*, tom. 37.

certain point, d'un arrangement cristallin de la masse postérieur à la consolidation générale et à la cristallisation des minéraux qui le composent. La régularité avec laquelle le granite de divers pays se divise naturellement ou artificiellement en masses rhomboédriques ou prismatiques, est tout aussi remarquable que le clivage des cristaux des espèces minérales.

Plusieurs grès, surtout les grès siliceux, se divisent facilement en prismes rhomboïdaux aplatis, ou en autres figures régulières que l'on peut observer lors de la désagrégation de la roche, et mieux encore en la brisant avec le marteau. Les prismes sont en général minces et peu volumineux, tels que celui représenté figure 19, qui provient de la grauwacke du Hartz. Le grand côté de l'échantillon a cinq pouces de long, le petit deux et demi; la hauteur est de trois quarts de pouce environ. L'angle aigu est de 67° et l'obtus

Fig. 19.



de 113°; en sorte que ce fragment d'une roche arénacée, terminé par des faces de clivage, présente toute la régularité d'un cristal. Nous ne voulons pas dire que tous les fragments de roches détritiques, clivés ainsi en prismes rhomboïdaux, présentent les mêmes angles; mais on ne peut s'empêcher de remarquer la fréquence des cas où l'on reconnaît une approximation aux angles que nous venons d'indiquer. C'est là l'apparence ordinaire de plusieurs des grès de la formation de la grauwacke, en sorte que des couches entières se brisent facilement en fragments réguliers de trois, quatre, cinq et six pouces de long, et de moins d'un pouce d'épaisseur. L'agrégation des particules s'est faite ici entre des grains de matières détritiques; cependant la forme prismatique ou rhomboïdale qui résulte, suivant les cas, de l'intersection des plans de clivage, rappelle singulièrement la régularité des formes cristallines. Les roches qui possèdent ce clivage contiennent quelquefois du carbonate de chaux, mais ce n'est point une condition essentielle; car le même clivage s'observe dans des grès dans lesquels on ne trouve pas un seul atome de matière calcaire.

Quelques schistes présentent des fissures de clivage remarquables; des plans verticaux, parallèles entre eux, partagent quelquefois la roche de telle sorte que si le plan de la stratification est à décou-

vert sur une certaine étendue, les divisions résultant du clivage ont l'air de planches posées sur leur tranche l'une à côté de l'autre. Ce genre de clivage se voit fort bien dans une portion des schistes du lias de Lyme Regis, sous l'escarpement appelé *Church Cliffs*. Les plans de clivage peuvent y être regardés comme un développement de la division en prismes ou en rhomboèdres, resté imparfait par le manque des fissures transversales qui auraient complété ces polyèdres.

Rien n'est plus commun dans les schistes argileux de tous les âges que le clivage transversal, représenté dans la figure 20, dans laquelle *a, a, a, a, a,* sont les véritables lignes de stratification, tandis que les autres lignes, parallèles entre elles, sont des fissures de clivage. Cette structure peut quelquefois être fort embarrassante,

Fig. 20.



et il devient souvent difficile de décider quel est le véritable plan de stratification. Il faut bien distinguer ces traces de clivage de cette espèce de pseudo-stratification si commune dans les roches arénacées, que nous avons mentionnée plus haut, et qui donne aux feuillets d'une roche une direction oblique aux plans des couches. Le clivage se reconnaît à la régularité de ses lignes, et souvent aussi à la grandeur de l'angle que les plans de clivage forment avec ceux des couches, angle qui va quelquefois jusqu'à 90°.

La tendance que présente un si grand nombre de roches d'origine soit chimique ou mécanique à se diviser en solides plus ou moins réguliers, montre clairement qu'il existe une loi quelconque en vertu de laquelle les particules de la matière solide, quelle que soit l'origine de cette matière, tendent à se réunir suivant des figures déterminées. Les formes prismatiques et rhomboïdales sont celles qu'on observe le plus fréquemment. Nous avons remarqué plus haut qu'une longue continuation d'une température donnée peut produire un changement dans l'arrangement intérieur des molécules constituantes d'une masse, sans en altérer la forme extérieure. Le docteur Macculloch cite une pierre arénacée qui avait été exposée pendant un temps considérable à une chaleur continuée dans un haut fourneau à Shiffnal, comme offrant un exemple curieux de la disposition prismatique que peuvent affecter, dans de telles circon-

stances, des grains de matière qui ont été accidentellement juxtaposés. Ce fait a été cité pour expliquer les formes prismatiques de certains grès qui se trouvent au contact ou du moins dans le voisinage de roches trappéennes, de manière à faire croire qu'ils ont pu être exposés à l'action d'une chaleur longtemps continuée. La tendance des grès à prendre dans de telles circonstances la forme prismatique (tendance qui est confirmée par la division prismatique que présentent les grès que l'on cuit dans des fours pour les durcir, entre Halifax et Huddersfield), est un fait fort intéressant pour l'explication du clivage des roches. Cette tendance prouve que, dans une masse provenant d'abord d'une agrégation mécanique de matières arénacées, les diverses particules peuvent subir, postérieurement à leur dépôt, une action qui divise la masse en une multitude de polyèdres présentant quelque régularité, tout en conservant à la roche son aspect arénacé.

Si on admet la théorie de M. Gregory Watt relativement à la structure colonnaire du basalte et roches analogues, on a la preuve qu'il se forme, par la pression des concrétions sphériques produites pendant la consolidation de la roche, une série de prismes hexagonaux, si les centres des sphères ou sphéroïdes sont équidistants les uns des autres; et ayant des figures diverses si la pression est inégale, d'après une différence dans la distance des centres. Cet auteur suppose que dans la surface ou les surfaces qui les premières se refroidissent lentement, il se forme un lit de sphéroïdes dont les centres sont plus ou moins équidistants. Ces sphéroïdes, augmentant graduellement de volume, se compriment latéralement les uns les autres, et prennent la forme hexagonale lorsque la pression est égale de tout coté; si nous supposons la nappe basaltique horizontale, ces sphéroïdes pourront s'allonger indéfiniment vers le haut, et même, dans des circonstances favorables, jusqu'à la partie supérieure de l'assise. Il en résultera une multitude de prismes accolés les uns aux autres, et perpendiculaires à la surface sur laquelle se sont d'abord formés les sphéroïdes. M. Watt a trouvé, dans ses expériences sur la fusion et le refroidissement lent du basalte, que les sphéroïdes qui se produisaient étaient non-seulement en fibres radiées du centre à la circonférence, mais qu'ils présentaient en outre des couches concentriques. Il en a conclu que les joints qu'on voit quelquefois dans les prismes basaltiques étaient formés par des surfaces correspondantes à ces couches concentriques. Cette théorie est fortement appuyée par les faits, surtout par la disposition horizontale des prismes dans les *dykes* verticaux, tels que ceux de la Chaussée des Géants et d'autres localités, dont les prismes partent des parois du

filon et se dirigent vers le centre, où ils perdent leur régularité par la confusion qui résulte de la rencontre des deux systèmes de prismes; rencontre qui ne se voit, ainsi que le remarque M. Watt, que lorsque des circonstances favorables ont permis l'entier développement des prismes basaltiques.[1]

Les concrétions concentriques de forme sphérique ou sphéroïdale sont très-communes dans les basaltes et autres roches ignées; on ne peut souvent les distinguer que lorsque la roche a subi une certaine dégradation qui a détruit les enveloppes extérieures sans attaquer les intérieures; on dirait alors une multitude de boulets de canon ou de bombes, séparés les uns des autres par une substance moins solide.

Les formes observées dans ces roches d'origine chimique ont en commun avec celles que nous avons vu plus haut se trouver dans des roches d'origine mécanique, de résulter toutes d'un mode d'agrégation des molécules postérieur à la production de la roche; mais elles diffèrent probablement entre elles sous tous les autres rapports. On ne saurait guère comprendre que la pression mutuelle de corps sphéroïdaux conduisît à la forme des prismes rhomboïdaux aplatis si communs dans la grauwacke; encore moins pourrait-il en résulter cette longue série de feuillets coupant le plan de la stratification sous différents angles dans les schistes argileux. Sans doute que dans tous ces cas c'est une agrégation des particules qui a donné lieu aux formes particulières qu'on observe dans les diverses roches; mais le mode suivant lequel cette agrégation s'est opérée, paraît avoir été différent dans les diverses roches.

Toute la théorie de la modification des roches est basée sur la faculté qu'ont les particules constituantes de ces roches de prendre un arrangement différent de celui qu'elles avaient d'abord, en conséquence de l'action longtemps continuée d'une chaleur qui ne suffit point à en produire la fusion. Lorsque nous voyons la craie changée en calcaire grenu de chaque côté d'un *dyke* basaltique, ainsi que la chose a lieu dans l'île de Raghlin, sur la côte septentrionale de l'Irlande[2], il nous est démontré qu'il y a eu là un nouvel arrangement dans les particules du carbonate de chaux. Au lieu de la texture terreuse ordinaire de la craie, nous voyons une texture cristalline d'autant plus développée que la roche est plus près du dyke basaltique. Toutes les analogies nous apprennent que dans ce cas

[1] Watt, *Observations on Basalt, etc.* *Phil. Trans.* 1804. Voyez aussi le *Manuel géologique*, art. *Roches non stratifiées*.

[2] Buckland and Conybeare, *Geol. Trans.*, vol. 3.

la modification est due à la chaleur communiquée à la craie par le basalte; la cause et l'effet sont là évidents.

S'il y avait eu fusion, toute trace de stratification aurait disparu dans les roches modifiées par la chaleur. La liquidité de la roche n'a point été nécessaire d'ailleurs pour produire la nouvelle texture qu'ont prise ses molécules. Les expériences de M. Mitscherlich sur les changements produits dans quelques substances cristallisées par des températures plus ou moins élevées, prouvent bien que la liquidité n'est point une condition de ces changements. Nous avons cité déjà le changement de texture intérieure dans des cristaux de sulfate de nickel (page 73). Des cristaux de sulfate de zinc et de sulfate de magnésie, chauffés lentement dans l'alcool, perdent leur transparence et se divisent en une quantité de petits cristaux de formes différentes du cristal sur lequel on a opéré. Un prisme de zinc séléniaté, exposé au soleil sur du papier, se change promptement en petits octaèdres à base carrée. Le même savant a remarqué que les propriétés optiques des plaques de sulfate de chaux et d'autres substances étaient altérées par des changements de température, ce qui prouvait un changement dans la texture intérieure, sans qu'on pût observer dans ces plaques aucune modification extérieure sensible[1]. Les différentes trempes de l'acier et les phénomènes de polarisation que présente le verre chauffé, doivent résulter aussi d'une nouvelle disposition des molécules de l'acier et du verre, due à une chaleur insuffisante pour produire la fusion de ces corps. Si l'on expose un morceau de verre de bouteille à une chaleur longtemps continuée, incapable pourtant de le fondre, on obtient une substance cristalline, composée d'une multitude de prismes disposés perpendiculairement à la surface du verre, dont la forme extérieure n'a point changé, malgré la nouvelle disposition des molécules intérieures.

Ces changements, produits dans des expériences qu'il est facile de répéter, nous amènent à concevoir des modifications plus importantes, produites dans la nature par des actions semblables, mais sur une échelle infiniment plus grande. Cependant, tout en admettant que des roches ont pu souvent être modifiées ainsi sur une grande échelle, lorsqu'elles se sont trouvées en contact avec des masses ignées qui ont continué à émettre de la chaleur pendant de longues périodes, il ne faut pas oublier que les roches sont de très-mauvais conducteurs de la chaleur, et par suite il ne faut point donner à l'action ignée des bornes indéfinies. Le fait bien connu que des hommes ont traversé la surface de courants de lave,

[1] *Annales de chimie*, tom. 37.

tandis que l'intérieur en continuait à couler, suffit à prouver combien ces laves tout au moins sont de mauvais conducteurs. Il paraît au reste que les laves ne forment pas une exception et que toutes les roches sont dans le même cas; s'il n'en était point ainsi, et s'il existe réellement une chaleur centrale à l'intérieur de notre globe, la surface de notre planète serait inhabitable pour tous les êtres organisés qui y vivent aujourd'hui.

Il est nécessairement très-difficile de déterminer les limites probables qu'il faudrait assigner à la modification des roches par une chaleur longuement continuée; on ne peut guère espérer d'arriver à une telle détermination par des expériences satisfaisantes; car nous ne pouvons disposer ni de la matière ignée, ni du massif de roches à exposer à la chaleur jusqu'à ce que le tout soit réduit à la température ordinaire; et par-dessus toute chose nous ne pouvons disposer du temps, cet élément si important dans tous les phénomènes qu'on observe à la surface de notre planète.

Puisque toutes les roches (à très-peu d'exceptions près) paraissent être de si mauvais conducteurs de la chaleur, il s'ensuit que si une grande masse de granite ou de trapp était injectée parmi des roches détritiques, telles que des grès, des schistes, etc., son action dépendrait en grande partie de la manière dont la chaleur pourrait se dissiper. Si une partie de la masse liquide ignée est arrivée au contact de l'atmosphère, le rayonnement en sera plus rapide que si elle était entourée totalement par les roches sédimentaires, et par suite la modification de ces dernières sera plus parfaite dans le dernier cas que dans le premier. Par le même motif, plus l'injection ignée se fait loin de la surface du sol, plus grande sera la modification des couches qui en seront atteintes, toutes choses restant égales d'ailleurs. Nous devons de même nous attendre à trouver la nouvelle texture cristalline d'une roche d'autant plus parfaite que la chaleur qui passe à travers la masse de cette roche aura été plus longtemps continuée.

Il importe de limiter la modification des roches à une distance raisonnable de la masse en ignition. Celle-ci ne peut conserver une chaleur capable de produire une action modifiante, que par les difficultés qu'elle éprouve à se séparer de cette chaleur; il s'ensuit que la quantité de chaleur qui peut pénétrer à une certaine distance dans un temps donné, devient trop petite pour y produire une modification appréciable. Ainsi l'étendue de la modification que peut subir une roche sédimentaire dépend de la masse de la roche ignée, de la position que cette masse occupe relativement à la roche sédimentaire, et du degré de conductibilité de la chaleur que pos-

sèdent les roches qui se trouvent au contact de la masse ignée. La première de ces conditions nous donne la plus grande quantité de la chaleur; la seconde, la longueur du temps nécessaire pour que cette chaleur soit dissipée, et la troisième, la distance à laquelle elle peut s'étendre avec une intensité capable de produire une modification dans les molécules de la matière des roches contiguës.

Nous terminerons ce chapitre par une observation sur la consolidation des roches. Il paraît difficile au premier abord de concevoir comment certains grès se sont consolidés. M. Pouillet cite un fait curieux qui semble jeter quelque lumière sur ce phénomène. Il observe que lorsque les glacés ont reçu leur dernier poli dans les ateliers de Paris, on les dresse de champ l'une contre l'autre, à peu près comme des livres légèrement inclinés dans le rayon d'une bibliothèque. Si on les laisse ainsi pendant longtemps, elles contractent une adhésion si intime, que non-seulement on ne peut les séparer sans les rompre, mais il arrive que trois ou quatre glaces sont comme incorporées l'une à l'autre, au point qu'on peut les travailler ensemble, les user sur les bords et enfin les couper au diamant comme on couperait une seule plaque de verre. M. Pouillet annonce en outre que M. Clément Desormes lui a fait voir plusieurs morceaux de deux, trois ou quatre glaces, qu'il avait recueillis à la manufacture royale de Saint-Gobin pour les soumettre à diverses épreuves. « Ces échantillons formaient des rectangles ayant plusieurs « pouces de côté, et les diverses pièces qui les composaient, ainsi « soudées par le temps à la température ordinaire, n'avaient pas « moins d'adhérence que si elles eussent été coulées ensemble; « car il fallait une force mécanique très-grande pour les faire glis- « ser sur leurs surfaces de jonction, et lorsqu'on croyait enfin les « avoir séparées, on était très-étonné de voir qu'il n'y avait pas eu « glissement, mais rupture dans l'épaisseur des glaces; de telle sorte « que la surface de jonction de l'une restait couverte, dans une « assez grande étendue, de larges lambeaux détachés de l'autre.[1] »

On pourrait conclure de ce fait que les grains de quarz, qui constituent si communément les grès, peuvent, dans des circonstances favorables, contracter une adhésion permanente par la pression longtemps continuée des grandes masses de roches qui les recouvrent. Plusieurs des roches arénacées doivent avoir été assujetties à des pressions énormes; et il est à remarquer que les grès légèrement agrégés sont plus communs dans les terrains modernes

[1] Pouillet, *Éléments de physique expérimentale*, tom. 3, p. 41, seconde édition; Paris 1832.

que dans les anciens. On ne peut douter que la consolidation de ces roches ne soit due en grande partie à des ciments produits par la voie chimique; cependant il est probable qu'une longue juxtaposition, sous une grande pression, n'a pas peu coopéré au procédé de cette consolidation. Il existe, il est vrai, parmi les couches terrestres, des sables incohérents, mais ces sables sont très-rares dans les terrains anciens.

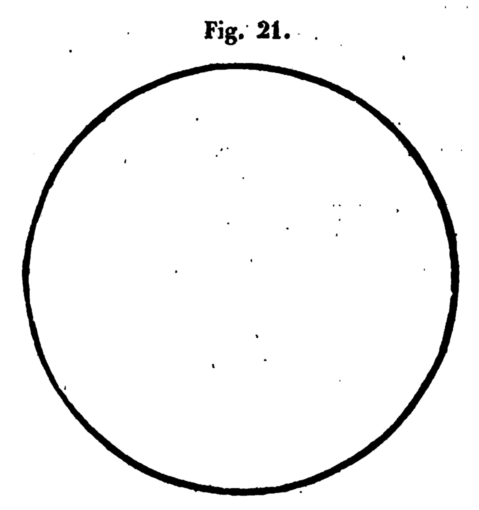
On peut observer ici que des roches arénacées longtemps exposées à la filtration d'une eau chargée de matières étrangères, tendraient à se consolider par le dépôt de ces matières entre les grains constituant ces roches. On a une preuve de la filtration d'une solution de silice, dans les coquilles fossiles qui sont souvent converties en calcédoine dans les grès, la substance calcaire de la coquille ayant disparu, et la silice s'étant infiltrée dans le moule ainsi préparé pour la recevoir. La formation des agates et autres minéraux dans les cavités des roches basaltiques et trappéennes, prouve que la silice, le carbonate de chaux et d'autres substances peuvent filtrer à travers des roches d'une texture beaucoup plus fine que celle des grès, pour se déposer dans les vides produits par les bulles de gaz lorsque la roche était à l'état de fusion.

CHAPITRE VI.

Nous avons eu lieu de remarquer déjà que la surface des continents a été disloquée et brisée en fragments, et que l'on rencontre difficilement une étendue de quelques milles carrés qui ne porte aucune empreinte de ces fractures; et puisqu'il en est ainsi pour les portions de la croûte minérale du globe qui s'élèvent à travers l'océan jusque dans l'atmosphère, nous pouvons en conclure que le fond des mers n'est point exempt de pareilles fractures; car on ne peut supposer que les dislocations de la surface terrestre aient été bornées aux parties de cette surface qui nous sont accessibles. Nous pouvons donc admettre que l'écorce minérale du globe entier est brisée en fragments de diverses grandeurs, maintenus en contact les uns des autres par leur gravitation vers le centre de la terre. Les terrains plus récents, considérés en masse, doivent nécessairement avoir été moins fracturés que les plus anciens, pris en masse aussi; car, puisque les terrains récents reposent sur les anciens, toute action de l'intérieur à l'extérieur les disloquerait aujourd'hui tous également, tandis que les terrains anciens peuvent avoir été disloqués, et l'ont même été sans aucun doute, avant le dépôt des terrains plus récents. Il s'ensuit que dans une région composée de terrains récents, les fractures de ces terrains n'indiqueraient point la somme totale des dislocations auxquelles a été exposée cette portion de l'écorce minérale de la terre, car les couches inférieures peuvent avoir été fortement brisées avant que les terrains superficiels fussent déposés. En conséquence, lorsque l'on suit des lignes de dislocation, il faut observer avec un grand soin si elles se terminent à la rencontre de couches plus récentes que celles où on les a remarquées, et examiner alors si on les retrouve dans les terrains anciens, au delà de la surface occupée par les terrains récents, ou si ces lignes de dislocation ne se sont probablement jamais étendues au delà du point où on en perd la trace, la fracture de l'écorce s'étant terminée naturellement à ce même point. Dans le premier cas, il est évident que la ligne de dislocation est produite antérieurement au dépôt des terrains récents; dans le second, la date relative des phénomènes reste incertaine.

Les redressements et contournements des couches prouvent aussi bien que leurs fractures, que des forces disloquantes ont agi sur les divers terrains après leur formation. Dans des contrées fort étendues les couches des terrains sont redressées suivant des directions déterminées constantes. Ce fait, qui s'observe fréquemment dans les pays de montagnes, ne leur est nullement particulier. De telles lignes de dislocation, considérées, ainsi qu'on est porté à le faire, d'après nos idées générales de distance, paraissent avoir des longueurs immenses ; mais si on les rapporte à la surface entière de notre sphéroïde, la plupart de ces lignes perdent leur importance apparente. On voit alors que plusieurs d'entre elles sont si courtes, que les fissures, ou les soulèvements des couches qui en marquent la direction, peuvent facilement être rapportées à des forces d'une intensité relativement fort petite. C'est peut-être faute d'attention aux proportions relatives entre le rayon de la terre et la hauteur des montagnes ; entre la longueur des chaînes de montagnes et la surface entière du globe, que l'on a accusé les géologues qui regardent ces lignes de redressement de couches et de dislocations comme résultant d'un petit nombre de mouvements plutôt que d'une infinité de petites secousses, d'appeler à leur aide l'action de forces dont l'immensité épouvante l'imagination, tandis qu'ils n'ont recours en réalité qu'à des forces relativement insignifiantes.

Fig. 21.



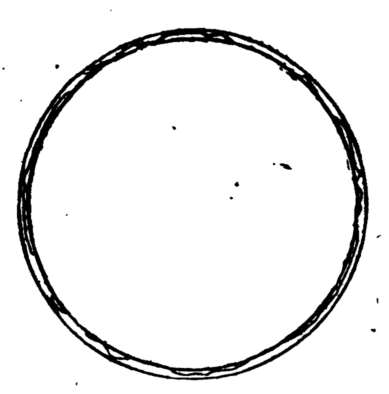
La figure ci-dessus peut donner une idée de la proportion qui existe entre l'écorce de la terre et son diamètre. Supposant que le

cercle entier soit une coupe de notre planète, la ligne noire extérieure aura cent soixante mille mètres d'épaisseur, c'est-à-dire que l'épaisseur de cette ligne est à la surface et au diamètre du cercle entier dans la même proportion qu'une écorce de cent soixante mille mètres de profondeur serait à une coupe réelle de la terre passant par son centre[1]. Il suffit de rappeler que les montagnes les plus élevées de la surface du globe n'atteignent pas une hauteur de dix mille mètres, pour qu'on soit convaincu que de telles aspérités, quand même elles seraient aussi fréquentes qu'elles sont rares, peuvent avoir été produites par des contractions ou par des expansions dans la masse du globe lui-même, et que les fractures et dislocations qui les ont accompagnées ne sont que des accidents relativement sans importance.

Si, comme on l'admet aujourd'hui, la théorie de la chaleur centrale est fondée sur quelque probabilité, il devient facile d'expliquer les phénomènes si fréquents de redressement et de dislocation des couches. Il est évident qu'il faut une cause générale pour expliquer la production d'un effet aussi général. En admettant, avec M. Élie de Beaumont, que l'état de notre globe est tel que dans un temps donné la température de l'intérieur s'abaisse d'une quantité beaucoup plus grande que celle de sa surface, l'écorce solide devra se briser pour ne pas cesser d'embrasser exactement la masse interne; ces fractures auront lieu d'une manière imperceptible si l'on a égard au temps et à la masse de la terre; mais elles paraîtront considérables relativement aux idées générales que nous nous faisons de ce genre de phénomènes. Dans cette hypothèse il devra se former des lignes innombrables de fractures, telles que nous les trouvons en effet; nous devrons nous attendre aussi à ce que les disloeations récentes auront eu lieu de préférence suivant les lignes des fractures plus anciennes; et que, dans des circonstances favorables, des massifs fracturés et redressés auront été soulevés de manière à former des arêtes et des chaînes de montagnes. Si dans la figure 22 ci-contre (dans laquelle on a exagéré les accidents de la surface) le cercle extérieur représente l'écorce terrestre à une époque donnée, et qu'une nouvelle contraction de la masse intérieure qui ne produira point un effet équivalent sur l'écorce déjà refroidie, mette cette écorce dans la nécessité de diminuer de capacité et descendre jusqu'au cercle intérieur, il en

[1] Voir à la planche 40 des *Sections and Views illustrative of Geological Phænomena*, par M. De La Bèche, une figure indiquant sur une plus grande échelle, les proportions relatives des Alpes, des Andes et de l'Himalaya, au rayon terrestre.

Fig. 22.



résultera des dislocations et des contournements de couches, et des massifs se trouveront pressés les uns contre les autres de manière à ce que l'ancienne surface puisse être comprise dans ses nouvelles limites. On aura donc un profil ayant une ressemblance grossière à celui qu'on a tracé entre les deux cercles (fig. 22), bien entendu qu'il n'y a aucune proportion entre les inégalités de ce profil et le diamètre du cercle intérieur; car, pour que ces inégalités fussent en même temps sensibles et proportionnées, il faudrait un cercle de plusieurs pouces de diamètre.

Si dans la contraction de l'écorce terrestre les arêtes d'une grande fente venaient à être pressées latéralement, elles se trouveraient soulevées relativement au niveau de la mer, qui devrait s'abaisser pour remplir les dépressions nouvellement formées. Que l'on calcule la quantité de matière solide qui est nécessaire pour produire une augmentation considérable dans une chaîne de montagnes, et on trouvera que la soustraction d'un égal volume d'eau (qui serait reçu dans la dépression de la surface correspondante au nouveau soulèvement), répartie sur toute la masse de l'océan, y produirait un abaissement de niveau bien moins considérable qu'on pourrait s'y attendre.

Quelques géologues, séduits par l'idée qu'une accumulation indéfinie de petites secousses doit nécessairement parvenir avec le temps à produire le même effet que l'action momentanée d'une grande force égale en intensité à la somme des premières, tournent en ridicule ceux qui croient que les montagnes ont été soulevées par des actions d'une intensité plus grande que celles qui produi-

sent de nos jours les tremblements de terre. C'est justement comme si, étant chargés d'enfoncer des pilotis dans un sol résistant, nous employions un mouton de la force nécessaire, et que nos amis vinssent nous railler, et nous conseiller au lieu de déployer un tel luxe de machines, de placer simplement, à chaque pilotis, un homme avec un marteau, qui, frappant à petits coups, finirait, suivant nos amis, par arriver au même but avec une bien moindre dépense.

Certes il ne faut point avoir recours, à chaque instant, à des actions d'une énergie extraordinaire pour expliquer les phénomènes géologiques, lorsqu'une petite force, ou une accumulation de petites forces peut donner une explication satisfaisante des faits observés. Ce serait alors comme si nous ne voulions jamais permettre qu'on plante un pieu dans une haie sans aller chercher un mouton pour l'enfoncer. Il ne faut point permettre que des idées préconçues nous fassent voir les choses autrement qu'elles ne le sont en réalité. Il est possible que nous nous trompions en essayant d'assigner des causes particulières aux soulèvements des montagnes, aux fractures et grandes dislocations des couches; mais, si nous avons calculé avec soin l'intensité de la force que cette cause a dû mettre en jeu, nous aurons au moins approché de la vérité sous ce dernier rapport, et nos recherches ne seront point inutiles au progrès de la science.

Toutes les fois qu'on a voulu expliquer la formation des chaînes de montagnes, par les fractures et les dislocations des roches qui les composent, il a fallu rechercher dans des phénomènes souterrains la cause des accidents de la surface. En adoptant même la théorie si ingénieuse de M. Lyell sur les variations de climat produites par la différence d'élévation et de position des continents; les changements supposés dans la position relative des diverses parties de la surface solide doivent avoir eu pour cause des phénomènes inférieurs à cette surface. Les changements de climats ne seraient donc qu'un effet secondaire, tenant à des déplacements antérieurs de la surface solide de la terre. Or, comme les mêmes effets doivent être produits par les mêmes causes, et que les montagnes, loin d'être un accident local, sont distribuées sur toute la surface du globe (car on peut admettre qu'elles existent réellement tout aussi bien sous la mer que sur les continents, les îles n'étant souvent que les cimes de montagnes sous-marines), il s'ensuit que la cause qui les a produites, et qui a donné lieu aux grandes dislocations et déplacements des terrains qu'on observe sur les continents, s'étend tout au moins à la surface d'un sphéroïde placé immédiatement sous

l'écorce du globe. Nous allons maintenant appeler l'attention du lecteur sur la nature de cette cause.

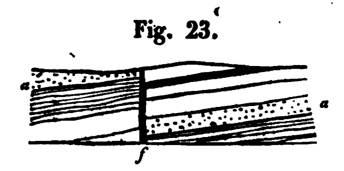
Il paraît bien établi que le niveau relatif de la mer et des continents peut être changé par des tremblements de terre; c'est surtout aux travaux de M. Lyell que nous sommes redevables de l'accumulation d'une masse de preuves à ce sujet. Ce n'est que lorsque M. Lyell borne l'intensité de cette action à la force déployée dans les tremblements de terre de nos jours, que nous penchons à différer de son opinion. On ressent des tremblements de terre, avec des intensités plus ou moins grandes, dans toutes les parties connues du monde; on peut les considérer, ainsi que les volcans, comme dus à des causes générales existant au-dessous de l'écorce minérale du globe. Or les tremblements de terre produisent de longues fentes et des dislocations de couches analogues entièrement à des failles. Parmi les élévations produites par les tremblements de terre, la plus remarquable est celle mentionnée par le capitaine Burnes, comme s'étendant sur une longueur de cinquante milles, dans une direction Est-Ouest, à travers le delta de l'Indus; sa largeur atteint, sur quelques points, jusqu'à seize milles, et sa hauteur est environ de dix pieds au-dessus du niveau de la mer. Cette élévation fut produite par le tremblement de terre arrivé en 1819 dans le pays de Cutch. Nous avons là une représentation en miniature d'une chaîne de montagnes, du moins en ce qui concerne le soulèvement du sol suivant une ligne donnée. On n'y cite pas de fractures, mais il est facile de concevoir qu'il s'en produirait par l'action plus énergique d'une force analogue. La répétition d'une force de même intensité agissant suivant la même ligne, produirait des dislocations si les couches étaient suffisamment consolidées et fragiles; si elles étaient encore pâteuses et susceptibles de s'étendre, elles seraient contournées, ou étirées, ou simplement arquées, suivant les circonstances.

Lorsqu'une fois il s'est formé des fractures dans l'écorce terrestre, les soulèvements postérieurs, soit qu'ils aient lieu par la pression des bords des fentes l'un contre l'autre, ou bien par l'effort d'une matière intérieure tendant à se faire jour, devront se produire de préférence sur les lignes des fractures préexistantes, que sur toute autre, car ces lignes seront en même temps les lignes de moindre résistance. Il ne serait donc pas étonnant qu'une suite de secousses de tremblements de terre agît sur une même ligne, ou pour mieux dire, que les plus grands effets de ces secousses se manifestassent suivant cette même ligne. Si donc les chaînes de montagnes ne portaient point l'empreinte du déploiement de forces d'une énergie plus intense que celle des tremblements de terre de nos jours, la

simple élévation de leurs masses à des hauteurs relativement considérables au-dessus du niveau de la mer, pourrait tout aussi bien être due à une accumulation des effets de ces petites secousses, qu'à toute autre cause. Mais un examen attentif des phénomènes que présentent les chaînes de montagnes, nous montre qu'il faut avoir recours pour leur explication à des actions plus énergiques.

On nous accordera facilement que dans plusieurs failles ou dislocations de couches il devient très-difficile de dire si la somme des dislocations (quelque considérable qu'elle soit) a été produite par une répétition de petits coups, ou par un seul mouvement ayant une plus grande énergie.

Fig. 23.

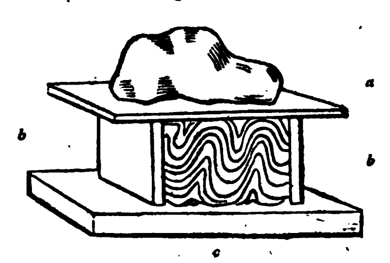


Soit *f* (fig. 23) une faille qui traverse une série de couches de manière que l'assise *a* soit déplacée d'un côté de la faille et portée par un mouvement d'élévation ou de dépression en *a* du côté opposé; il serait difficile, d'après cette seule coupe, de décider si la différence de niveau des deux portions de la couche *a* a été produite par un seul choc ou par plusieurs. Le poli des surfaces, qu'on observe si fréquemment dans les failles, ne nous aidera pas beaucoup dans cette détermination; car une seule forte pression produira le même poli qu'une série de mouvements moins énergiques.

Négligeons pour le moment plusieurs cas de dislocations dont il est difficile d'expliquer les apparences autrement qu'en les supposant produits par une seule rupture, pour nous occuper des contournements de couches si communs dans les chaînes de montagnes, et assez fréquents ailleurs. Ces plissements pourront nous donner quelques indices de l'intensité de la force à laquelle ils doivent leur existence. Le contournement d'une couche n'a été possible qu'autant que cette couche était dans un état de mollesse tel que les molécules en fussent susceptibles d'un certain mouvement les unes par rapport aux autres; de sorte qu'il ne résultât aucune fracture décidée lors de l'application de la force qui les a contournées. Sir James Hall a montré depuis longtemps qu'il faut, pour qu'une pression latérale produise des contournements de couches, qu'il y ait résistance à la partie supérieure et inférieure des couches; et que la partie supérieure soit susceptible de céder jusqu'à un certain degré.

Il appuyait sa démonstration par un exemple que nous avons essayé de reproduire dans la figure 24, et prouvait ainsi qu'en effet toutes ces conditions sont nécessaires à la production des contournements des couches par des pressions latérales. Sir James Hall prenait diverses pièces d'étoffe, les unes de drap, les autres de toile, et les disposant horizontalement sur une table (*c*), il les couvrait

Fig. 24.

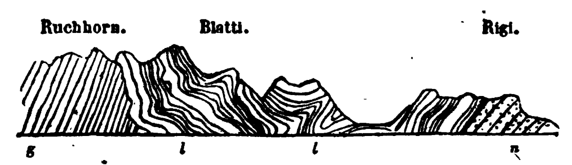


d'un poids (*a*) qui les pressait fortement; il appliquait ensuite des forces latérales (*bb*) et trouvait que, tandis que le poids supérieur (*a*) était soulevé à une certaine hauteur, les pièces d'étoffe étaient plissées et contournées d'une manière analogue absolument aux contournements des couches qui se voient dans la nature.[1]

Il est évident que s'il y avait une seule force latérale, et que le côté opposé résistât à la pression, il se produirait de même des contournements, pourvu qu'il y eut un poids suffisant à la partie supérieure. Il s'ensuit aussi que, si une masse de matière solide pénètre avec force entre des couches à l'état de mollesse pâteuse, qui ne puissent céder suffisamment à la pression qui les pousse de bas en haut, ces couches seront pressées et contournées pour donner place à la masse qui s'efforce de se faire jour. Or il est à remarquer que les contournements de couches sont surtout fréquents à l'extrémité et aux flancs des chaînes de montagnes, comme s'il y avait eu, avant que ces masses pussent atteindre leur hauteur actuelle, une pression du centre à l'extérieur qui aurait donné lieu à ces couches contournées.

[1] *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, vol. 7, p. 85. Sir James Hall inventa plus tard un instrument pour contourner des couches d'argile en miniature; le principe en est absolument le même que celui de l'expérience ci-dessus, que nous avons rapportée de préférence, parce que chacun peut la répéter sur sa table avec deux ou trois livres et quelques morceaux d'étoffe de diverses couleurs.

Fig. 25.



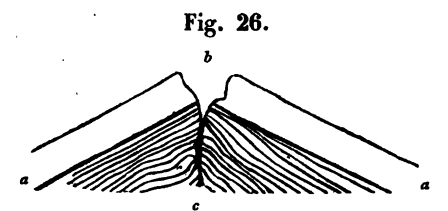
La figure 25 représente une coupe des Alpes, depuis le Rigi jusqu'à l'hospice du Saint-Gothard, par le docteur Lusser; *g* est du gneiss; *ll* des couches calcaires; *n* le conglomérat appelé *nagelflue*. Cette coupe n'est point exagérée; elle montre avec exactitude comment les couches des Alpes calcaires sont contournées, le long des flancs de la chaîne centrale. Nous nous voyons contraints d'admettre que toute la masse des Alpes calcaires (consistant en une série alternante de calcaires, schistes argileux et marneux, et grès, dans laquelle dominent les couches calcaires) était dans un état relativement pâteux, lorsque ses couches ont été ainsi contournées. Il est bien difficile de concevoir, avec quelque apparence de probabilité, que cette masse se soit conservée assez longtemps à l'état de mollesse pâteuse pour qu'une série de petites secousses comparables à nos tremblements de terre actuels ait pu agir successivement de manière à produire les contournements actuels. L'ensemble du phénomène porte plutôt l'empreinte de l'action d'une force énergique qui a pressé vers la partie extérieure de la chaîne les couches calcaires et celles qui leur sont subordonnées; et comme pour appuyer cette manière de voir, le nagelflue, qui en réalité est postérieur au calcaire, est renversé[1] de manière à plonger au-dessous de celui-ci, et paraît supporter aujourd'hui les couches qui l'ont réellement supporté lui-même avant l'action de la force qui a renversé le tout. Cette coupe est tellement frappante qu'on pourrait croire qu'on l'a choisie parmi d'autres en plus grand nombre, sur lesquelles on pourrait fonder une opinion contraire. Certes, elle offre un excellent exemple du contournement des couches sur de grandes échelles; mais on pourrait facilement en citer d'autres tout aussi concluantes. Dans les Alpes même on trouverait des massifs immenses, constituant des montagnes entières, tellement fracturés et renversés qu'il paraît impossible de se refuser à admettre qu'il a fallu un déploiement de forces énorme pour les disloquer et les enlever de leur

[1] Des observations postérieures à celles de M. le docteur Lusser ont prouvé que ce renversement du nagelflue n'est qu'apparent. Voir *Bulletin de la Société géologique de France*, tom. 6, p. 112. (*Note du traducteur.*)

place originaire; forces près desquelles l'intensité des tremblements de terre modernes ne sont que des jeux d'enfants. Nous ne voulons pas qu'on nous accuse de croire impossible qu'il se renouvelle aujourd'hui des phénomènes d'une énergie tout aussi puissante; nous disons simplement que l'intensité de la force déployée dans un des tremblements de terre de nos jours est une chose insignifiante, si on la compare aux actions qui ont soulevé jadis de grandes chaînes de montagnes, et pourront en soulever encore.

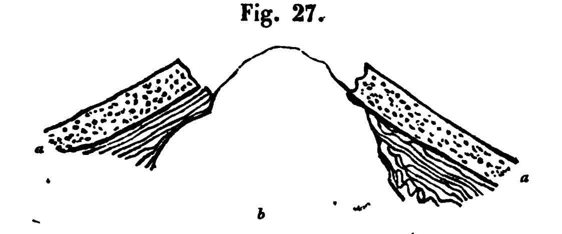
La quantité de la pression latérale et la résistance à cette pression ne sont point les seules circonstances qui aient le droit d'attirer notre attention; il faut chercher à nous rendre compte aussi de l'état de mollesse pâteuse des roches au moment où elles ont été contournées, et des masses supérieures dont le poids a empêché qu'elles ne fussent simplement soulevées, sans subir de plissements. Si, dans la figure 26, *aa* représentent deux massifs de roches, ou deux portions d'un même massif pressées l'une contre l'autre en conséquence de dépressions qui les comprimeraient aux points *a* et *a*, elles seront simplement poussées en haut au point *b*,

Fig. 26.



avec quelques contournements peut-être des couches inférieures *c*, si elles sont à un état de mollesse; car ces dernières couches se trouveraient exposées non-seulement à la pression latérale, mais en même temps à celle résultant du poids des couches supérieures *aa*. Si, au lieu d'être écrasées l'une contre l'autre par les dépressions latérales, les couches *aa* étaient poussées de bas en haut par l'intercalation d'une masse de roches, il en résulterait une disposition analogue à celle de la figure 27, dans laquelle *b* représente la matière

Fig. 27.



intercalée ; les couches *a a* seraient simplement relevées, avec quelque contournement peut-être des assises inférieures, si celles-ci étaient à un état plus pâteux que celui de la masse intercalée.

Ni l'une ni l'autre des coupes idéales des figures 26 et 27 ne s'accorde avec la coupe du revers septentrional des Alpes (fig. 25). Nous ne pouvons nous expliquer les contournements qu'on y observe sans admettre une pression supérieure d'une force plus qu'ordinaire. Nous pourrions bien nous expliquer les plissements des parties inférieures des figures 26 et 27, en supposant que le poids des masses supérieures fût capable d'une résistance suffisante. Mais si l'on veut adopter la même explication pour les contournements des Alpes, il faudra admettre ensuite la disparition du volume énorme de matière qui aurait été capable de résister à la pression latérale lors de son action, et nous serions hors de toute possibilité de nous rendre compte de cette disparition. Il est vrai qu'un volume immense de matière a été enlevé de la chaîne des Alpes, et on en a la preuve dans les masses de conglomérats et de grès si abondantes aux flancs de la chaîne et qui en sont évidemment dérivées [1] ; mais on ne saurait guère admettre que le total de ces masses eût pu suffire à l'explication du phénomène des contournements des couches calcaires.

C'est une question très-difficile à résoudre que celle de savoir comment un volume de matière, tel que celui qui compose les Alpes calcaires, a pu être réduit à l'état de mollesse, s'il avait été durci auparavant, ou comment il aurait pu se conserver à l'état de mollesse depuis son dépôt jusqu'au moment du soulèvement ; et cette difficulté ne se rapporte pas à un cas isolé, mais à une infinité de cas semblables. Il arrive souvent, ainsi qu'on doit s'y attendre, que des couches d'argile et de marne sont contournées, dans des régions disloquées, tandis que les calcaires et les grès qui accompagnent ces couches sont simplement fracturés. Les couches résistantes ont été brisées, celles qui étaient relativement molles ont plié, et il n'y a rien, dans de tels phénomènes, que de très-simple à concevoir. Mais lorsque l'on trouve des grès siliceux et autres, des calcaires compactes, et même des couches de substances cassantes, courbées et plissées dans tous les sens, on ne peut expliquer l'état actuel de ces couches sans admettre qu'elles étaient, lors de la dislocation, molles et tenaces à la fois, et cette supposition présente bien des

[1] Les masses de conglomérats et de grès situées aux flancs de la chaîne des Alpes, ont toutes participé aux mouvements qui ont donné à ces chaînes leur relief actuel ; elles sont donc antérieures à ces mouvements : l'auteur entend parler sans doute des masses diluviennes incohérentes qui effectivement recouvrent des deux côtés des Alpes des surfaces très-étendues. (*Note du traducteur.*)

difficultés. Si nous en cherchons l'explication dans la chaleur, il faut nous rappeler que les roches sont de bien mauvais conducteurs, et que par conséquent il est difficile qu'une certaine épaisseur de couches ait pu être ramollie au point de pouvoir se contourner sans qué la partie inférieure entrât en fusion ; tel est du moins l'effet auquel nous devrions nous attendre d'après l'état de nos connaissances actuelles à cet égard.

Que si nous voulons supposer que les couches contournées n'étaient pas consolidées encore lorsqu'elles ont pris leur forme actuelle, il se présente de bien autres difficultés, surtout lorsqu'on réfléchit que des couches d'âge différent sont quelquefois comprises dans un même plissement. Les calcaires compactes, qui sont si fréquemment contournés, ne peuvent avoir été longtemps sans se consolider, s'ils ont été produits par un dépôt chimique de carbonate de chaux, soit qu'il se précipitât seul, soit qu'il enveloppât des débris organiques. Les dépôts modernes de carbonate de chaux, qu'ils se forment à l'air libre ou sous l'eau, qu'ils soient d'eau douce ou marins, sont durcis presque dès le moment de leur dépôt. De sorte que si les calcaires des périodes anciennes ont été produits d'une manière tant soit peu analogue aux récents, plusieurs de ces calcaires doivent avoir été consolidés avant de subir leurs contournements. Dans le Pembrokeshire et d'autres lieux, les couches du calcaire carbonifère et de la houille ont été contournées les unes avec les autres, et évidemment par la même action de dislocation. Or, dans ce cas il est impossible de concevoir que le calcaire carbonifère ne fût point à l'état solide avant de prendre son apparence contournée actuelle ; puisque les couches de houille (qui ont évidemment exigé de longues périodes pour leur production) étaient formées avant que les deux séries de couches fussent contournées à la fois par la même cause de dislocation.

Nous n'avons absolument aucune donnée sur un point qui nous aiderait peut-être à expliquer ces phénomènes de contournement ; c'est le degré jusqu'auquel les molécules des différentes roches pourraient être forcées à se mouvoir les unes par rapport aux autres (surtout si les roches contiennent de l'eau disséminée), par une forte pression latérale et sous le poids d'une masse supérieure, dans une situation telle enfin que les molécules ne pussent se disjoindre entièrement les unes des autres ; le mouvement des molécules pourrait être aidé par l'eau qui serait disséminée entre elles. Sans doute que la résistance serait énorme, et nous devrions nous attendre à ce que la pression pulvérisât toutes les couches plutôt que de les contourner, s'il s'agissait de masses solides poussées contre des

masses solides. Mais ces masses contiendraient une plus ou moins grande quantité d'eau, suivant la nature des roches; car l'eau est disséminée parmi les roches stratifiées en beaucoup plus grande quantité qu'on ne le croirait d'abord, ainsi qu'on peut s'en convaincre facilement par des expériences directes. L'eau est disséminée même dans les calcaires, et elle doit exister en quantité considérable dans les moins compactes; car lorsqu'on place des échantillons bien séchés de ces calcaires au contact de l'eau, l'attraction capillaire y est aussi distincte que si on employait un morceau de sucre. L'oolite de Bath ou de Portland bien séchée absorbe l'eau avec rapidité. Il est excessivement difficile de chasser des roches toute leur humidité, surtout si les fragments en sont volumineux; mais si l'on prend des échantillons de moyenne grandeur, de diverses roches, de celles surtout qui appartiennent aux terrains stratifiés supérieurs ou fossilifères, et qu'après les avoir exposés à une chaleur considérable qui chasse une grande partie au moins de leur humidité, on les pèse et qu'on les plonge ensuite dans l'eau pour leur en laisser absorber jusqu'à saturation, on trouvera, en les pesant de nouveau, une bien plus grande différence de poids qu'on ne pourrait s'y attendre.

Quoique l'eau soit aussi abondamment disséminée dans les roches, il ne s'ensuit pas que sa présence suffise seule à donner aux couches une mollesse qui les rende susceptibles d'être courbées et infléchies dans tous les sens. S'il en était ainsi, les roches contenant une quantité médiocre d'humidité, auraient en général été courbées et non fracturées, lorsqu'elles avaient à subir l'action d'une force puissante. Mais l'eau peut contribuer au contournement des couches, en facilitant jusqu'à un certain point les mouvements des molécules des roches, et en donnant à leur masse une sorte de ductilité. Les changements de position des molécules d'un corps, dans les cas cités à la page 78, prouvent que les molécules de la matière solide peuvent être amenées à se mouvoir les unes par rapport aux autres avec plus de liberté qu'on ne l'aurait cru possible, et sans que la matière passe à l'état liquide; dans ces cas, la position relative des molécules a été changée d'une manière très-remarquable, et dans le séléniate de zinc, par la simple action des rayons solaires. Nous avons parlé de la dissémination presque constante de l'eau dans les roches placées dans les circonstances ordinaires, afin d'engager nos lecteurs à des recherches ultérieures sur ce fait, qui nous paraît un des éléments à prendre en considération lorsque l'on veut étudier les causes qui ont amené les contournements des couches. Nous ajouterons encore une observation. On voit souvent des couches fortement contournées à l'approche de roches ignées, et dans des cir-

constances qui paraissent rendre évident que ces roches ont été poussées au jour au moment même où les couches voisines ont été contournées. La simple pression latérale d'une roche liquéfiée contre une masse stratifiée solide ne pourrait certes en contourner sensiblement les couches, si la roche fluide parvenait à s'épancher librement dans l'air ou dans l'eau sans trouver de résistance dans cette direction; sans doute la matière ignée tendrait à s'insinuer entre les couches, et elle y pénétrerait proportionnellement à la hauteur de la colonne liquide, et à la pression résultant de cette hauteur, ainsi que nous l'avons remarqué ailleurs [1]; mais c'est là une opération toute différente que celle du rejet de la masse entière, des deux côtés de la roche ignée, avec de grandes inflexions et des contournements de toute espèce.

Or, l'association des roches ignées avec ces contournements des couches est si fréquente, qu'il faut bien admettre qu'il y ait quelque connexion entre les causes de ces deux phénomènes. Une masse liquide de roches en fusion ne peut être poussée de bas en haut à travers des masses solides stratifiées, sans que ces couches aient été préalablement fracturées, soit par la force qui chasse en haut la matière liquide, soit par le développement d'une vapeur ou d'un gaz qui aurait été fortement comprimé, soit encore par la dépression des deux extrémités d'une grande masse tabulaire de roches produisant une fente ou dislocation vers le centre de cette masse, ou par diverses combinaisons de ces forces. Mais en admettant que la pression latérale d'une masse de roches liquides ne puisse produire seule les grands contournements de couches que l'on observe dans la nature, il n'en est pas moins vrai que la chaleur tendrait au moins à chasser l'humidité des couches à une plus grande distance de la masse en fusion. Il y aurait, en effet, une tendance à vaporiser l'eau des couches voisines, et la vapeur aqueuse chauffée se dégagerait plus facilement à travers les feuillets, ou à travers les joints de stratification et de clivage que dans toute autre direction, car ce seraient là les lignes de moindre résistance. Dans de telles circonstances une masse de roches pourrait être chauffée au delà des limites qu'atteindrait la chaleur si la roche était privée d'eau, et il se pourrait qu'une surabondance d'humidité fût forcée à pénétrer des couches dont la température serait relativement peu élevée. Ainsi, lorsqu'une matière ignée est poussée ou injectée parmi des roches, il se produit un état de choses qui n'est nullement défavorable au contournement des couches, et qui n'est pas

[1] *Manuel géologique*, art. *Dykes volcaniques*.

non plus sans influence sur les modifications chimiques des roches.[1]

La condition la plus favorable à la production des contournements des couches paraît être la pression d'une matière solide sur des substances douées d'une certaine souplesse, qui, tout en pliant, peuvent glisser, jusqu'à un certain point, sur leurs plans de stratification. Les roches stratifiées ne constituent pas une masse solide homogène, même dans les cas fort rares où les couches sont d'ailleurs semblables sous tous les rapports : ce sont des masses composées d'une série de corps solides posés les uns sur les autres et

[1] On se fera une idée de la quantité d'eau qui peut filtrer à travers les roches dans un court espace de temps, si l'on se rappelle que d'après les rapports du service fait par les machines à vapeur des mines du Cornouailles, la quantité moyenne d'eau pompée par ces machines pendant l'année 1833 a été de près de 75,000 litres par minute; et que les seules mines dites *consolidées* en ont fourni plus de 9000 litres par minute.

Je tiens de M. Richard Taylor que dans tous les districts de mines où il a fait des observations (et certes il a eu de fréquentes occasions d'en faire) il a trouvé que la quantité d'eau dans une mine varie en proportion de la quantité de pluie qui tombe dans le pays. Les saisons de grandes pluies sont suivies d'une grande augmentation d'eau dans les mines, et le contraire arrive après les sécheresses. Le temps qui s'écoule avant que les effets des causes météorologiques se fassent sentir dans les mines varie considérablement; il dépend du caractère géologique et de la structure physique du pays, et dans un même district des circonstances géologiques particulières à chaque mine. M. Taylor a remarqué que la filtration de l'eau se fait d'une manière particulièrement rapide dans les calcaires du terrain carbonifère, au point qu'une forte averse donne plus d'eau que n'en peuvent enlever les machines qui suffisent pour l'épuisement des eaux ordinaires. Il a vu des cas dans lesquels une forte averse a produit, deux ou trois heures après, une telle crue d'eau dans deux mines (celles de *Pent y Buarth* et *Cathole* sur la montagne de *Mold* dans le *Flintshire*) que les pompes à feu, après avoir été portées de la vitesse de trois à quatre coups de piston par minute, à la limite de leur puissance, c'est-à-dire à près de cinq fois le même nombre de coups, ne pouvaient pourtant suffire à empêcher l'eau de croître rapidement et inonder les travaux. Il paraît que les accidents physiques de la contrée facilitent l'introduction des eaux de pluie dans ces filons, et qu'il y a de grands filons-croiseurs ou failles qu'on peut suivre sur une longueur de plusieurs milles et qui versent des torrents d'eau dans les mines. Ce sont là au fait des canaux traversés par des rivières souterraines, et M. Taylor remarque que ces rivières charrient une quantité de sables et de graviers provenant des roches qu'elles ont traversées.

La somme totale de l'eau qui passe à travers les failles et les fissures doit être énorme, et si on l'ajoute à celle qui est contenue dans les roches mêmes, on aura le volume d'eau qui peut s'infiltrer au-dessous de la surface du sol. Il y a probablement une certaine compensation entre la quantité d'eau qui tombe à la surface du sol et celle qui s'infiltre jusqu'à des profondeurs médiocres; car mon ami M. Davies Gilbert estime qu'un pouce d'eau de pluie tombé à la surface d'un acre équivaut environ à un poids de 100 tonneaux.

faciles à séparer suivant les plans des couches. Si les molécules qui composent les couches sont susceptibles de quelque mouvement les unes par rapport aux autres, c'est-à-dire si les couches ont été suffisamment ramollies et qu'elles soient assujetties à une forte pression latérale, elles seront courbées et contournées si la masse qui les recouvre est d'un poids suffisant. Dans la coupe des Alpes depuis le Rigi au Saint-Gothard (fig. 25), il est facile de concevoir que les couches des montagnes calcaires ont été écrasées latéralement par la pression des gneiss et autres roches de la chaîne centrale. Cette pression a pu avoir lieu également soit que la masse centrale des Alpes ait été poussée de bas en haut par une dépression des côtés de la chaîne (comme dans le cas de la figure 26), ou par l'expansion de forces puissantes intérieures capables de vaincre la résistance supérieure. Il est des cas dans lesquels on peut imaginer que les contournements des couches ont eu lieu avant leur consolidation; d'autres fois on est porté à croire qu'elles ont été ramollies après cette consolidation. La chaleur et l'humidité doivent avoir fortement influé sur le ramollissement des couches. La pression latérale ne peut contourner des couches sans le poids d'une masse supérieure, qui, pouvant céder jusqu'à un certain point à l'action intérieure, suffit pourtant à empêcher le renversement total des couches. Lors donc que l'on rencontre à la surface des continents des couches contournées, on est certain que ces couches ne sont point maintenant dans la même position relative qu'elles occupaient avant leur contournement; et puisque la pression de l'atmosphère ne suffit point pour l'explication du phénomène, il faut en conclure que la masse qui pesait à la partie supérieure des couches lors de leur contournement a disparu, quelle que fût d'ailleurs la nature de cette masse.

CHAPITRE VII.

Nous avons vu que le redressement des couches qui forment à la surface de la terre les chaînes des montagnes et plusieurs autres aspérités, peut résulter de deux causes différentes. Il peut tenir à la pression de bas en haut, des côtés d'une fente l'un contre l'autre, causée par une dépression inégale des extrémités d'une masse étendue, ou bien à l'intercalation de matières venues de l'intérieur de la terre par l'action de forces élastiques souterraines. Le rayonnement de la chaleur de la masse terrestre devrait nécessairement diminuer le volume de cette masse par le rapprochement des molécules qui s'ensuivrait, tandis que si l'on suppose l'oxidation d'un noyau métallique ayant la même température que les espaces planétaires environnants, le volume de ce noyau serait augmenté. Dans ce second cas le noyau métallique absorberait l'oxigène de son enveloppe liquide ou gazeuse, et diminuerait par conséquent la masse de ces enveloppes; la surface du noyau métallique acquerrait une haute température par l'union de l'oxigène avec quelques-unes des bases métalliques; mais l'expansion causée par l'élévation de la température diminuerait graduellement, et il n'y aurait d'augmentation permanente de volume que celle provenant de la nouvelle combinaison des bases métalliques avec l'oxigène.

Un noyau métallique froid serait bientôt oxidé, soit qu'il fût enveloppé par l'eau ou par une atmosphère oxigénée, surtout si le sodium, le potassium et des métaux analogues se trouvaient abonder à la surface du noyau. Mais l'oxidation de la surface une fois achevée, et en admettant que des fissures et des craquements nombreux eussent été produits dans la croûte superficielle par l'infiltration de l'eau dont l'oxigène s'unissait aux bases des métaux, tandis que la force élastique de l'hydrogène mis en liberté produisait les aspérités de la surface; on ne voit pas trop comment il aurait pu résulter d'une telle action quelque chose d'analogue à ces longues lignes de soulèvement si communes à la surface de la terre, et dont la plus remarquable paraît être la grande chaîne des Amériques septentrionale et méridionale. La chaleur produite par la combinaison de l'oxigène avec des métaux tels que le potassium et le sodium dans le cas de la filtration de l'eau, n'aurait pas pour

seul effet d'augmenter la tension de l'hydrogène, et produire ainsi des fractures dans l'écorce terrestre; elle pourrait souvent fondre les parties inférieures de la croûte oxidée, et cette matière liquide pourrait être forcée à jaillir à la surface à travers ces mêmes fractures.

Or les dégagements de matières gazeuses et les éruptions de roches en fusion sont des phénomènes si abondants à la surface de la terre, et ils sont accompagnés de circonstances qui rendent si plausible la théorie de la filtration de l'eau jusqu'aux bases métalliques de certains corps, qu'il importe de ne point négliger cette théorie, quoiqu'elle ne donne point une explication suffisante de quantité de phénomènes qui ont été attribués à des combinaisons de ce genre. Il nous faut au contraire rechercher jusqu'à quel point cette théorie peut rendre compte des phénomènes observés, si on la combine avec celle de la chaleur centrale.

Nous avons remarqué plus haut que l'état gazeux de notre planète, dû à une température suffisamment élevée, aurait pu donner lieu à une croûte métallique, au-dessus de laquelle se seraient rassemblés la plus grande partie de l'oxigène et quelques autres corps simples non métalliques, laissant au-dessous de cette croûte la majeure partie des métaux à l'état libre : nous ne répéterons pas ici quels seraient les effets probables du rayonnement de la chaleur, tant sur la masse intérieure que sur la surface du globe. Il nous suffira de remarquer combien les fentes et les dislocations dues à ce rayonnement seraient favorables à la pénétration de l'eau jusqu'aux bases métalliques de quelques-unes des terres et des alcalis. En combinant les effets du rayonnement de la chaleur centrale, avec ceux qui seraient dus à l'infiltration de l'eau jusqu'aux bases métalliques de certaines terres et alcalis situées sous une épaisseur donnée de la croûte oxidée, il nous paraît qu'on peut arriver à des explications (plus ou moins plausibles, à la vérité) auxquelles on ne saurait arriver à l'aide d'une seule de ces deux théories. Les grandes chaînes de nos continents et de nos îles, ainsi que les principales lignes de dislocations, paraissent mieux s'expliquer par le refroidissement séculaire de la masse du globe, tandis qu'une grande partie des phénomènes des éruptions volcaniques s'accordent plutôt avec la théorie de l'infiltration de l'eau tenant en solution certaines substances, jusqu'aux bases métalliques des terres et des alcalis. Dans ce cas, comme dans beaucoup d'autres, nous devons nous efforcer d'expliquer avec impartialité les phénomènes qui paraîtraient d'abord en opposition les uns avec les autres, plutôt que d'adopter une théorie absolue, avec la résolution de ne rien voir que d'après

cette théorie, et par suite dénaturer des faits, et même les omettre de bonne foi, dans la chaleur de la discussion, lorsqu'ils sont contraires à la théorie qu'on a adoptée.

On a observé depuis longtemps que les sources thermales, qu'elles soient situées dans des montagnes ou dans des plaines, ont leur origine dans des couches fracturées ou disloquées, et qu'elles jouissent d'une constance remarquable de température, car il y a bien peu de cas où on ait pu leur supposer des changements sous ce rapport. De tels effets ne peuvent guère résulter que d'une cause générale. Il est facile de concevoir sous la surface terrestre une chaleur générale due soit à la chaleur centrale, soit à la décomposition d'une partie de l'eau qui pénètre jusqu'à certaines bases métalliques, en supposant que ces bases soient communément distribuées sous la croûte oxidée de la terre. Il y a pourtant une différence dans les effets de ces deux causes; dans le premier cas l'eau ne serait guère que chauffée, tandis que dans le second une partie au moins en serait décomposée, et il y aurait dégagement d'une quantité d'hydrogène qui devrait ou se combiner sous terre avec quelque autre substance, ou bien arriver à la surface à l'état libre. L'hydrogène sulfuré, qui est si facilement absorbé par l'eau, se rencontre à la vérité dans quelques sources thermales, mais non dans toutes. Plusieurs sources thermales ne contiennent point d'hydrogène libre ou combiné, si ce n'est celui qui fait partie constituante de l'eau de ces sources. Si donc la température de ces sources est due à la décomposition d'une partie de l'eau qui a pénétré jusqu'aux bases métalliques, l'hydrogène provenant de cette décomposition doit, ou s'être combiné, sous terre, avec quelque autre substance, ou y rester à l'état libre. Cette dernière supposition ne paraît guère probable, car la fissure qui permettrait à l'eau non décomposée d'arriver à la surface, laisserait à plus forte raison échapper le gaz; et quant à la combinaison souterraine, il se présente de nombreuses difficultés.

Si l'eau parvenait à pénétrer jusqu'aux bases métalliques, que nous avons si souvent mentionnées, il devrait en résulter une action dont les effets seraient plus violents que ceux qu'on voit en général dans les sources thermales; une action qui aurait plus d'analogie avec les phénomènes volcaniques. Les sources thermales peuvent bien résulter d'effets secondaires, c'est-à-dire que l'eau portée à une haute température, et les substances contenues dans plusieurs de ces sources, se dégageraient de l'intérieur à l'état de vapeur et de gaz, et lorsque les fissures des roches à travers lesquelles s'opère ce dégagement seraient à une température assez basse pour per-

mettre l'existence de l'eau à l'état liquide, les vapeurs d'eau se condenseraient et absorberaient alors quelques-unes des substances gazeuses, telles que l'hydrogène sulfuré et l'acide carbonique. Il paraît en effet que les sources thermales qui se dégagent des fentes des volcans ne sont que des vapeurs condensées contenant les gaz qu'elles ont absorbés. Le docteur Daubeny a trouvé que la vapeur qui se dégage à la *Solfatara*, près Naples, contient de l'hydrogène sulfuré et de l'acide muriatique. Or il est évident que si cette vapeur avait traversé une fissure assez froide pour permettre sa condensation, il en serait résulté une source thermale; l'élasticité de la vapeur intérieure serait suffisante à élever l'eau et la faire jaillir à la surface, la condensation continuée de la vapeur fournissant sans cesse de la nouvelle eau à la source. Cette eau serait en outre *minérale*, surtout si l'acide muriatique s'unissait avec quelque substance telle que la chaux ou la magnésie, pour produire un sel soluble dans l'eau; ce qui pourrait aisément avoir lieu au passage de l'eau thermale à travers des roches calcaires ou magnésiennes.

Plusieurs autres substances que celles mentionnées ci-dessus pourraient évidemment être mêlées à la vapeur qui s'exhale de la *Solfatara* de Naples, et il est probable que c'est là le cas pour les vapeurs aqueuses qui se dégagent dans d'autres *Solfatares*. Il en résulterait une quantité de sources thermales et minérales, si ces vapeurs pouvaient se condenser dans des fentes et des crevasses de roches à une température suffisamment basse. Ces sources jailliraient aussi longtemps qu'il y aurait au-dessous dégagement de vapeur élastique en état d'élever l'eau à la surface du sol : cette cause expliquerait aussi la constance de température de chaque source; car aussi longtemps que la vapeur s'élèverait dans les crevasses jusqu'à une hauteur donnée, l'eau condensée jaillissant à la surface conserverait la même température, puisqu'elle serait toujours dans des circonstances identiques. Les roches sont de si mauvais conducteurs de la chaleur, que les parois des fissures auraient bientôt pris la température de l'eau, qu'elles garderaient ensuite pendant des siècles.

Le docteur Daubeny, dans ses observations sur les sources thermales, insiste sur la présence fort commune de l'azote dans les eaux de ces sources, et il en conclut que l'eau en est dérivée originairement de la surface du globe, où elle contenait de l'air atmosphérique dont l'oxigène aurait servi dans l'intérieur à quelque combustion. Nous avons vu (page 7) que l'azote n'est pas absolument étranger aux roches, et qu'il est même assez abondant dans les combustibles. Il est vrai de dire qu'on ne doit le considérer, dans ce cas, que comme dérivé en premier lieu de l'atmosphère. On n'a

point trouvé d'azote dans des roches non fossilifères; il ne s'ensuit pas que cette substance ne puisse aussi bien exister au-dessous de l'écorce terrestre que dans l'atmosphère; mais dans l'état actuel de nos connaissances, il paraît probable que l'azote ne se trouve que dans l'atmosphère ou dans des corps qui l'ont tiré de l'atmosphère où il existait en premier lieu. Si les sources thermales ne se trouvaient que dans les pays de houillères, ou dans d'autres couches fossilifères, ou bien dans des positions telles qu'on pût admettre l'existence de ces terrains au-dessous des roches qui forment la surface du sol, on pourrait expliquer la présence de l'azote dans les sources par un dégagement opéré dans les roches que traversent les eaux thermales avant de jaillir à la surface de la terre. Mais la présence de cette substance dans les eaux thermales d'un grand nombre de localités dans lesquelles on n'a aucun motif de soupçonner l'existence de roches fossilifères, ou autres pouvant dégager de l'azote, nous porte à croire qu'il s'infiltre contenu dans l'eau jusqu'aux profondeurs desquelles les sources thermales tiennent leur température.

Si l'air atmosphérique contenu dans l'eau descend au-dessous de la surface terrestre jusqu'aux profondeurs où le tout est fortement chauffé, l'oxigène de cet air pourra entrer dans quelque combinaison et l'azote être mis en liberté. En supposant que l'eau contenant de l'air vînt à se trouver en contact de substances analogues au sodium et au potassium, il y aurait décomposition d'une partie au moins de l'eau, et par conséquent dégagement d'hydrogène. Or, comme il est des sources thermales dans lesquelles on ne rencontre l'hydrogène ni libre, ni en combinaison avec une autre substance que l'oxigène dans l'eau elle-même, on en peut conclure que l'union de l'oxigène avec une base métallique n'est point une condition nécessaire de la haute température des eaux thermales. Les phénomènes de volcanicité, dont nous avons parlé plus haut, peuvent et doivent probablement donner lieu à un grand nombre de sources thermales. La condensation de vapeurs d'eau imprégnées de substances gazeuses, telles que les vapeurs rejetées par les volcans, donnerait des résultats si analogues à la composition chimique de quelques-unes des sources thermales (eu égard surtout aux effets produits par la filtration d'eaux ainsi composées à travers un grand nombre de roches) qu'il est bien difficile de ne se point laisser aller à conclure que c'est là l'origine de quelques-unes au moins des sources thermales.

D'autres conditions suffiraient pour expliquer l'origine de plusieurs sources thermales, même de celles qui contiennent de l'azote, lors-

qu'elles ne présentent ni hydrogène sulfuré ni aucune combinaison analogue. L'infiltration de l'eau contenant de l'air atmosphérique, jusqu'aux profondeurs auxquelles elle prendrait une haute température par l'action de la chaleur centrale, et l'oxidation plus lente de quelques substances aux dépens de l'oxigène de l'air contenu dans l'eau, suffiraient à produire des effets analogues à ceux qu'on observe dans plusieurs sources thermales. Dans les deux cas, la force élastique de la vapeur paraît nécessaire pour élever l'eau à travers les fentes et crevasses de l'écorce du globe, tant dans les pays de montagnes qu'ailleurs. La théorie de la chaleur centrale nous donnerait, à des profondeurs médiocres, la température nécessaire à la production de cette vapeur, et la décomposition de l'eau par certaines bases métalliques produirait le même effet. Il nous paraît que l'explication la plus satisfaisante des phénomènes des sources thermales serait celle qui combinerait les effets de la chaleur centrale avec la décomposition par certaines bases métalliques de l'eau contenant diverses substances étrangères. La chaleur centrale expliquerait la constance de température des sources thermales; car, quoique ces eaux puissent n'être que de la vapeur condensée, encore faut-il une chaleur intérieure constante pour élever la vapeur aqueuse à une hauteur constante dans les fissures par lesquelles les sources thermales se font jour. Un tel effet pourrait difficilement résulter de la simple oxidation d'une base métallique ; car la chaleur produite dans ce cas serait en raison inverse de l'épaisseur de l'oxide déjà formé, épaisseur qui diminuerait la facilité de la combinaison de l'oxigène avec la base; et dans la suite des temps, la température due à l'oxidation devrait s'abaisser, du moins jusqu'à ce qu'une fracture de la croûte oxidée ou tout autre accident vînt mettre à découvert de nouvelles portions de la base métallique.

Une grande chaleur ne suffit pas à l'explication des phénomènes volcaniques; il faut encore des combinaisons et des décompositions chimiques capables de produire les substances gazeuses et liquides qui se dégagent lors des éruptions. La vapeur d'eau y est en général très-abondante. D'après le docteur Daubeny, les principaux gaz découverts jusqu'ici dans les volcans sont l'acide muriatique, le soufre combiné avec l'oxigène ou l'hydrogène, l'acide carbonique et l'azote. D'après Sir Humphry Davy, les sublimations du Vésuve consistent en sel commun, chlorure de fer, sulfate de soude, muriate et sulfate de potasse, et une petite quantité d'oxide de cuivre. M. Boussingault, qui a examiné les gaz et vapeurs qui se dégagent dans les volcans de Tolima, Puracé, Pasto, Tuquères et Cumbal, dans l'Amérique équinoxiale, trouve qu'ils consistent en une grande proportion de

vapeur aqueuse, de l'acide carbonique, de l'hydrogène sulfuré et quelquefois de la vapeur de soufre; il fait remarquer que l'acide sulfureux et l'azote, trouvés dans ces cratères, y sont accidentels, et qu'il ne s'y dégage ni acide muriatique, ni hydrogène pur, ni azote[1]. Les gaz des émanations volcaniques et les matières sublimées autour des cratères ont été trop peu étudiés, jusqu'ici, par des chimistes habiles; et les savants auxquels nous devons le peu de notions que nous possédons sur ces produits, ne se sont guère occupés que de quelques orifices volcaniques de l'Italie, de la Sicile, de quelques îles de la Méditerranée et de l'Amérique équinoxiale. Le champ de ces observations est évidemment trop limité, si l'on réfléchit à la distribution générale des volcans sur la surface du globe.

Il est évident qu'on pourra découvrir dans les volcans d'autres produits que ceux qu'on vient de citer. Il est bien difficile en effet de supposer que ces produits résultant des substances diverses exposées intérieurement à une grande chaleur, ne varient point suivant les circonstances dans lesquelles se trouvent les divers volcans. Il arrive souvent dans les éruptions que des fragments de la roche des parois de la cheminée volcanique, sont rejetés presque intacts, par suite du peu de temps qu'ils ont eu à subir l'action de la chaleur ou celle des substances volcaniques; mais il doit arriver souvent que des fragments de ces roches tombent dans la masse incandescente et contribuent ainsi à la formation de nouvelles substances minérales. Les produits des volcans doivent donc tenir à la nature et à l'abondance des fragments de roches qui viennent s'ajouter au bain volcanique; et l'on peut en conclure, ce qui est bien connu d'ailleurs, que les contrées volcaniques offrent un champ fertile aux recherches des minéralogistes.

Lorsqu'on observe la lave liquide incandescente dans un cratère volcanique, on la voit en général fortement agitée par le passage de vapeurs ou de gaz qui se dégagent à sa surface. Le volume de ces vapeurs ou gaz augmente considérablement par intervalles, et l'explosion en est proportionnée au volume; quelquefois elle suffit à projeter et répandre de tout côté des portions de la roche liquide incandescente. La colonne de lave paraît souvent comme soutenue en grande partie par des matières gazeuses inférieures, fortement comprimées, qui finissent, après avoir pris la tension nécessaire, par s'échapper en soulevant la substance visqueuse qui les comprimait. La pression de la lave sur les gaz et vapeurs doit être souvent fort

[1] *Annales de chimie et de physique*, tom. 52, p. 23; 1833.

considérable, et il doit y avoir toujours une lutte constante entre la force de pression de la lave et la puissance expansive de la chaleur, lutte dont les effets dépendront de l'intensité relative des deux forces. Nous avons vu que plusieurs gaz sont rendus liquides par des pressions comparativement faibles; en sorte que si par une cause quelconque, telle, par exemple, que l'état de repos d'un volcan, quelques-uns des gaz contenus dans la lave fussent liquéfiés, leur retour à l'état gazeux, causé par la chaleur au moment d'un nouveau paroxisme du volcan, pourrait produire des explosions d'une violence extrême.[1]

La grande quantité de vapeur aqueuse contenue dans les laves, et la position habituelle des volcans dans des îles ou près des côtes, conduisent naturellement à l'idée de l'infiltration de l'eau de la mer jusqu'à certaines bases métalliques des terres et des alcalis. On a dit que les sublimations salines et le dégagement d'acide muriatique donnent une grande probabilité à cette hypothèse; mais la filtration de l'eau de la mer jusqu'à une matière incandescente, telle que la lave, peut produire dans quelques circonstances des résultats à peu près semblables. Lorsque l'on trouve de l'hydrogène en abondance, il est probablement dû à la décomposition d'une partie au moins de l'eau. Il serait intéressant de savoir jusqu'à quel point le soufre qui entre dans la composition de l'hydrogène sulfuré qu'on a reconnu souvent dans les émanations volcaniques, peut provenir immédiatement du foyer volcanique, ou bien du sulfate de soude contenu dans l'eau de la mer; on arriverait par là (dans l'hypothèse de la filtration de l'eau de la mer) à une évaluation des substances tirées du foyer de l'action volcanique qu'il faudrait ajouter au contenu de l'eau de mer elle-même, pour pouvoir rendre compte des vapeurs et matières gazeuses qui se développent dans les éruptions.

On sait à présent qu'il existe des volcans à des distances considérables de la mer. D'après MM. Klaproth, Abel Rémusat et Humboldt, il existe dans le centre de l'Asie, à 300 ou 400 lieues de l'océan, une région volcanique ayant une étendue d'environ 2500 milles géographiques carrés. Dans la chaîne centrale des Andes, le pic de Tolima a eu plus d'une éruption depuis les temps historiques. Il serait très-intéressant de pouvoir étudier jusqu'à quel point les matières gazeuses dégagées par ces volcans si éloignés de la mer,

[1] M. Poulett Scrope a remarqué (*Considerations on Volcanos*, p. 82) que la grande force de projection de la vapeur élastique développée dans les volcans, est produite par des circonstances analogues à celles qui résultent de l'ignition de la poudre dans un canon, les parois de la cheminée volcanique et celles du canon jouant, sur des échelles diverses, un rôle analogue.

sont différentes des émanations de même nature qui ont lieu dans les volcans des îles ou des côtes. Si les volcans intérieurs se trouvaient à portée de grands lacs salés ou de mers méditerranéennes, ce qui est peut-être le cas des volcans d'Asie, le résultat de ces recherches serait peu concluant; les observations ne seraient pas bien certaines non plus, si l'on pouvait présumer que l'eau a filtré à l'intérieur à travers des roches chargées de matière saline; mais il n'en serait pas moins fort utile d'avoir des observations faites par des chimistes habiles sur les productions des volcans différemment situés par rapport à la mer. Ce serait un moyen d'approcher de la connaissance des causes des phénomènes volcaniques.

Parmi les substances dont il faut chercher l'origine ailleurs que dans la décomposition de l'eau de la mer, la plus importante est l'acide carbonique, qui se dégage souvent en si grande abondance dans les éruptions volcaniques, surtout vers la fin des grands paroxismes, après la sortie de la grande masse de matière en ignition. L'acide carbonique se trouve porté aussi à la surface de la terre par des sources tant thermales que froides. Sa présence dans les sources thermales offre un grand intérêt comme servant à lier ce phénomène avec les éruptions volcaniques; la basse température des sources froides contenant de l'acide carbonique ne prouve pas que l'eau de ces sources n'ait pas été fortement chauffée à l'intérieur; car elle pourrait s'être refroidie dans son passage de l'intérieur à la surface. Le poids d'une colonne d'eau supérieure et la pression de la vapeur à la partie inférieure pourraient forcer l'eau de ces sources à se surcharger d'acide carbonique beaucoup au delà de ce qu'elle en dissoudrait sans cela, d'après le principe sur lequel est fondée la préparation, sous une forte pression, des *eaux gazeuses artificielles*. La quantité d'acide carbonique, toutes choses égales d'ailleurs, serait nécessairement d'autant moindre que la température de l'eau serait plus élevée; et nous voyons que les eaux de Carlsbad, à une température de 74° centigrades environ contiennent cinq pouces cubes par pinte de ce gaz[1], tandis qu'une pinte de l'eau non thermale de Pyrmont en contient trente-six pouces cubes.[2]

Un des caractères les plus constants de l'action volcanique, c'est le dégagement violent de matières gazeuses et de vapeur d'eau. Il serait possible qu'une partie de cette vapeur fût produite par l'union de l'hydrogène libre avec l'oxigène de l'atmosphère; et certes les décharges électriques sont assez fréquentes dans les éruptions pour qu'une telle combinaison puisse avoir lieu; mais la grande masse

[1] Berzelius.

[2] Bergmann.

des vapeurs aqueuses paraît réellement être de l'eau convertie en vapeur et chassée avec une force extraordinaire. On s'explique facilement la grande quantité de vapeur par le contact de l'eau avec les matières incandescentes; mais il est plus difficile de se rendre compte de la production de quelques-uns des gaz volcaniques par la seule décomposition des sels qui se trouvent dissous dans l'eau de la mer. Le chlorure de sodium est commun dans les matières sublimées des volcans, et Sir H. Davy a découvert le chlorure de fer parmi les produits du Vésuve. Le chlorure de sodium pourtant n'est que du selmarin desséché, que nous pouvons obtenir par la simple action de la chaleur et l'évaporation de l'eau de mer. On a observé fréquemment de l'acide muriatique dans les éruptions volcaniques, mais on ne s'est point occupé jusqu'ici de savoir dans quelle proportion il s'y trouve, et l'on ne peut savoir s'il se produit dans la cheminée volcanique même par la combinaison du chlore avec l'hydrogène, ou s'il provient directement de l'eau de la mer.

Il serait fort important de connaître la quantité relative d'hydrogène qui se dégage dans les éruptions, soit à l'état libre, soit combiné avec le soufre à l'état d'hydrogène sulfuré; on aurait ainsi quelque donnée pour arriver à découvrir jusqu'à quel point il est nécessaire de faire intervenir la décomposition de l'eau dans l'explication des phénomènes observés. Si l'action volcanique dépend de la décomposition de l'eau, dont l'oxigène s'unirait avec les bases métalliques de certaines terres et alcalis, il y aurait dégagement d'un volume énorme d'hydrogène. Le docteur Daubeny croit que l'hydrogène ainsi versé dans l'atmosphère s'y combinerait avec l'oxigène, et formerait de l'eau qui serait ramenée jusqu'aux bases métalliques, où elle serait encore décomposée; de sorte qu'une quantité donnée d'hydrogène agirait simplement comme conducteur, sans qu'il y eût jamais dans l'atmosphère une accumulation extraordinaire de ce gaz. Toutefois, si une portion de l'oxigène de l'atmosphère passait à l'intérieur des volcans, soit comme partie constituante de l'eau qui s'y décomposerait, ou de toute autre manière, il en résulterait quelque chose de fort curieux; c'est que l'oxigène de l'atmosphère devrait diminuer en raison directe du nombre et de l'intensité des éruptions volcaniques.

Nos connaissances sur les vapeurs, les gaz et les sublimations des volcans, sont trop bornées, sans doute, pour qu'on puisse rien conclure de complet sur leur origine; mais on ne peut guère expliquer les phénomènes observés, à moins que d'admettre la pénétration de l'eau jusqu'aux foyers volcaniques. Nous n'avons pas besoin de décider si l'eau s'y décompose en tout ou en partie, avec

production de chaleur, ou si elle s'y trouve en contact avec des matières incandescentes. Des vapeurs élastiques ou des gaz paraissent nécessaires pour amener à la surface les matériaux solides et liquides des éruptions; il s'en dégage constamment dans les grandes éruptions, et leur action sur les matières liquides et solides chassées dans l'atmosphère, est un des traits les plus marquants et les plus imposants à la fois des éruptions volcaniques. Or, de simples ruptures de l'écorce terrestre ne peuvent suffire par elles-mêmes à produire les effets que nous observons dans les volcans en activité, en admettant même que les fissures de l'écorce s'étendent jusqu'à la masse liquide incandescente intérieure; à moins qu'on ne suppose que les vapeurs et les gaz, si communs dans les éruptions, existent constamment au-dessous de la croûte solide de la terre, dans toutes les parties du globe. Cette supposition implique un état de choses fort difficile à concevoir, d'après la nature surtout de ces gaz et vapeurs. En tout cas elle n'offre point la même simplicité que l'hypothèse de la filtration des eaux de la mer ou autres, à travers des couches fracturées, jusqu'aux foyers volcaniques, où elles sont soumises à des actions dont nous n'avons pas besoin de rechercher la cause immédiate; actions qui produisent au moins une grande partie des vapeurs élastiques et des gaz qui prédominent dans toutes les éruptions volcaniques.

Nous remarquerons ici que les volcans sous-marins doivent différer de ceux dont le cratère communique directement avec l'atmosphère, en ce que les vapeurs et les gaz qui se dégagent des premiers seront facilement absorbés par l'eau, et ne pourront s'échapper dans l'atmosphère si ce n'est dans le cas où le cratère serait tellement près de la surface de la mer, que la force d'éruption des gaz et des vapeurs pût vaincre la résistance due au poids de cette mince colonne d'eau. A des profondeurs médiocres, cette résistance suffirait cependant à empêcher le passage des vapeurs et des gaz, vu surtout la grande facilité avec laquelle ces substances se combineraient avec l'eau. Les vapeurs aqueuses disparaîtraient facilement et ne s'élèveraient au-dessus du cratère que lorsque la bouche en serait tout près de la surface de l'eau, comme en 1831 dans la formation de l'île de Sciacca, entre la Sicile et Pantellaria. Une telle vapeur d'eau condensée est dans les mêmes conditions que l'eau dont on a chassé l'air par l'ébullition, c'est de l'eau distillée, en un mot. La masse de l'eau de la mer aurait bientôt abaissé la température de la vapeur condensée, et celle-ci, quoique légèrement mêlée avec l'eau salée, serait promptement en état d'absorber l'acide muriatique, l'acide sulfureux, l'hydrogène sulfuré et l'acide carbonique dégagés par le volcan, indé-

pendamment de toute absorption qui s'opérerait dans l'eau même de la mer. L'azote libre ne serait absorbé qu'en petite quantité; mais il le serait facilement, s'il était uni à l'hydrogène sous forme de gaz ammoniaque. Dans les grandes profondeurs il y aurait nécessairement une grande pression, qui suffirait seule à forcer l'eau à se charger des divers produits gazeux. Nous avons vu que par le simple effet de la pression l'acide sulfureux à 7° 22 centigrades serait liquide sous une colonne d'eau de 20 mètres 72, et l'hydrogène sulfuré à 10° centigrades le serait sous 176 mètres 17; ces températures sont communes dans les eaux profondes, et les eaux voisines du volcan sous-marin seraient réduites à ces températures à peu de distance du cratère. Il est presque inutile de parler des effets de la pression de l'eau sur le gaz acide muriatique ou sur le gaz ammoniaque, s'il y en avait de formé, car l'un et l'autre seraient rapidement absorbés par l'eau; mais nous rappellerons pourtant qu'ils seraient tous deux réduits à l'état liquide à des profondeurs peu considérables; le premier à 314 mètres 52, le second à 67 mètres 36 seulement.

La condensation de l'acide carbonique d'après le simple effet de la pression serait plus difficile; car dans les expériences de M. Faraday, il a fallu une pression de trente-six atmosphères à la température de 0° centigrade pour l'obtenir à l'état liquide : il serait facile de trouver une telle pression dans des mers médiocrement profondes; mais une température aussi basse ne se rencontrerait que dans les mers polaires, et sous des conditions particulières. Cependant une grande augmentation de pression produira le même rapprochement forcé des molécules de l'acide carbonique, que les effets combinés de la pression de trente-six atmosphères et de la température de 0°; et nous pouvons en conclure que l'acide carbonique serait liquéfié sous 500 ou 600 brasses d'eau. Or ce n'est pas là une profondeur extraordinaire; elle doit être très-fréquente, au contraire, dans une partie considérable de l'océan. Il n'est point rare de trouver des profondeurs plus grandes, même dans la Méditerranée. Dans des sondages qui avaient pour objet la recherche des températures à différentes profondeurs, M. Bérard n'a point trouvé de fond avec une ligne de 1200 brasses sur des points situés entre les îles Baléares et Alger. Comme on n'a point encore réussi à liquéfier l'azote dans les laboratoires, nous ne savons point s'il y a dans les mers des profondeurs telles que le poids de l'eau pût le réduire à l'état liquide; mais quand même il ne deviendrait point liquide sous de telles pressions, il serait réduit, d'après son élasticité, à un état de densité dont les effets seraient comparables à ceux de l'air atmosphérique placé dans des circonstances semblables.

Le dégagement des vapeurs et des gaz, et les causes qui peuvent les avoir produits, ne sont point le seul objet à étudier dans les volcans. Le mode probable de production des matières liquides et solides rejetées dans les éruptions, est tout aussi important. Les courants de lave ne se produisent guère que dans les moments de grande intensité de l'action volcanique, que l'on nomme éruptions; et l'on admet généralement que ces amas de roches liquéfiées viennent de grandes profondeurs au-dessous de la surface de la terre. Avant les grandes éruptions, la cheminée volcanique est généralement obstruée par de la lave solidifiée et des fragments qui sont tombés d'en haut, en sorte que la solidité et le poids de cette sorte de voûte s'opposent à la fois au libre développement des gaz, des vapeurs et de la lave liquide. Il est difficile de croire que la cheminée du volcan, entre l'orifice ainsi formé et les profondeurs auxquelles nous supposons qu'existent la lave, les vapeurs et les gaz, ne soit point remplie d'une matière liquide ou solide; il est plus simple de concevoir que cette fissure était remplie, avant l'éruption, de lave contenant des vapeurs et des gaz, qui pourront ou non se faire jour à travers la matière accumulée dans le cratère.

Nous avons un grand nombre d'exemples qui prouvent que la lave conserve sa chaleur durant des périodes très-considérables, même quand elle a coulé par le cratère ou les flancs du volcan, et que la chaleur peut en rayonner librement dans l'atmosphère[1]. Si la lave peut conserver sa température lorsqu'elle est ainsi exposée à l'air libre, quelles périodes de temps ne faudrait-il point pour refroidir celle qui remplirait la cheminée même du volcan, entourée qu'elle serait de tout côté de roches fortement chauffées et tout aussi mauvais conducteurs de la chaleur que la lave elle-même? Lors même qu'il se passe des siècles entre les grandes éruptions d'un volcan donné quelconque, il est probable que la lave est liquide à une petite profondeur au-dessous du cratère. Les molécules de la partie supérieure de la lave peuvent être et sont probablement si intimement adhérentes, lors même que la lave est chauffée au rouge, qu'il faut une grande force pour les disjoindre; et c'est peut-être là une des raisons qui fait que les explosions sont si violentes dans les premiers temps d'une éruption, lorsque la résistance de la croûte

[1] M. Poulett Scrope a observé sur les flancs de l'Etna, en 1819, un courant de lave qui s'avançait d'un mètre par jour, neuf mois après son éruption (*Considerations on Volcanos*, p. 101). Dolomieu et Ferrara parlent d'autres courants de lave de l'Etna qui étaient encore en mouvement dix ans après l'éruption. Sir W. Hamilton alluma de petits fragments de bois dans les fissures d'un courant de lave du Vésuve quatre ans après sa sortie du volcan.

supérieure est non-seulement surmontée instantanément par la forte pression de la lave liquide inférieure, mais encore par la tension des vapeurs élastiques qui s'efforcent de se dégager.

Si le cône d'un volcan n'occupe, ainsi qu'on le suppose ordinairement, qu'une petite partie de la hauteur totale de la cheminée au-dessus des profondeurs où la lave a son origine, la colonne de lave liquide sera fort considérable dans tous les volcans, quoique sa hauteur puisse considérablement varier, suivant la puissance des causes qui tendent à la soulever. Or, si la croûte du globe était partout de la même épaisseur, l'intérieur de la terre étant fluide, toute cause qui agirait uniformément sur la masse fluide pour la pousser à percer la croûte à travers des fissures, aurait pour résultat, toutes choses étant égales d'ailleurs, de soutenir à une même hauteur des colonnes d'une même matière fluide, en sorte qu'on devrait s'attendre à ce que les volcans eussent, sur toute la surface du globe, des hauteurs à peu près égales s'ils n'étaient produits que par les efforts qu'un fluide incandescent intérieur ferait pour s'échapper, par des fissures, jusqu'à la surface extérieure. Un tel état de choses suppose une force d'expansion dans la masse intérieure, et par conséquent une cause capable d'en augmenter le volume. Cette cause ne peut être le rayonnement de la chaleur terrestre, qui tendrait à produire l'effet contraire; ce doit être un agent quelconque capable d'augmenter la distance entre les molécules de la partie extérieure, tout au moins, de la masse fluide interne.

Si la surface solide s'est fendillée, pendant son refroidissement, en fragments nombreux, ces fragments auront surnagé ou plongé dans la matière liquide inférieure, suivant leur pesanteur spécifique relative. En prenant 2,6 pour la densité moyenne de la croûte minérale terrestre, des fragments ayant cette pesanteur spécifique auront plongé dans une lave feldspathique ou trachytique et flotté sur une lave basaltique. Mais la densité de la lave, soit trachytique, soit basaltique, sera tellement diminuée par l'effet de la chaleur (qui doit toujours, jusqu'à un certain point, agir dans ce sens sur les laves) que des masses froides de la densité de 2,6 y couleront à fond; il s'ensuit que l'action de la pesanteur tendra à rassembler tous les fragments en une seule masse; et comme cette action ne peut cesser d'exister, on ne voit pas du tout que les fragments puissent se séparer, à moins qu'ils n'y soient contraints par une force d'expansion sans laquelle ils resteraient pressés et accolés toujours les uns contre les autres.

Une telle force d'expansion agissant, d'une manière générale, sous la croûte du globe, il est difficile de penser que cette croûte,

disloquée et fracturée comme elle l'est, pût résister à l'effort d'une force qui agirait sur elle dans toutes les directions. On peut concevoir que la croûte de la terre céderait à une force si générale, que la matière liquide pénétrerait dans les fissures dans toutes les directions, et que les fragments solides de la surface se sépareraient pour que cette intercalation pût avoir lieu; il en résulterait un état de repos comparatif lorsque l'expansion aurait atteint ses limites. Cette théorie paraît directement opposée à celle qui admet que l'état actuel du globe provient du rayonnement de la chaleur et d'une diminution du volume de la terre en conséquence de ce rayonnement; car, d'après ce que nous venons de dire, le volume de la terre devrait s'augmenter, avec toutes les conséquences d'une telle augmentation. Et si nous supposons que des effets semblables se reproduisent par intervalles, le volume de la terre augmenterait graduellement. On pourrait croire peut-être que le contact de l'eau avec les bases métalliques des terres et des alcalis répandues généralement au-dessous de la croûte oxidée, produirait une expansion de la matière, soit par la chaleur développée dans l'oxidation, soit par la combinaison même des métaux avec l'oxigène; tandis que l'inégalité des obstacles que l'eau trouverait sur son passage, rendrait compte de l'inégalité des effets de cette cause générale, tels que nous les observons. Le rayonnement de la chaleur ainsi produite, donnerait lieu certainement à des contractions, et nous aurions alors une explication plausible de quelques-unes de ces alternatives de soulèvements et de dépressions de continents et d'îles, que la géologie nous apprend avoir eu lieu à la surface de notre planète; car, tandis qu'il se produisait une chaleur intense par la combinaison de l'oxigène d'une quantité d'eau avec la base métallique, il ne pouvait arriver de nouvelle eau à cette base jusqu'à ce que le rayonnement ou la dispersion de la chaleur eût assez abaissé la température; il ne pouvait donc y avoir une expansion graduelle continuée, non interrompue par des contractions. Cette théorie expliquerait aussi les mouvements inégaux de soulèvement et de dépression des continents. Elle nous donnerait cependant une augmentation de la matière solide terrestre aux dépens de l'atmosphère, qui continuerait à perdre en quantité énorme son oxigène de la manière indiquée à la page 107. Une objection, en apparence fort grande, à cette manière de voir, c'est que l'on arriverait difficilement à expliquer par là les grandes aspérités qu'on observe aujourd'hui à la surface de la terre. Nous avons dit déjà combien il est difficile de rendre compte, par de tels moyens, de l'existence des chaînes de montagnes et des grandes lignes de dislocation; il y a

une autre difficulté encore relative au lit de l'océan ; car, toutes choses égales d'ailleurs, l'eau devrait pénétrer plus facilement jusqu'aux bases métalliques sous les mers profondes que sous les continents et les îles, en admettant même que la croûte oxidée fût aussi épaisse sous l'océan que partout ailleurs.

Si cette cause venait à produire l'élévation de grandes étendues de pays, nous devrions trouver en même temps dans ces pays des traces de l'action volcanique; c'est-à-dire des fissures par lesquelles se dégageraient l'hydrogène mis en liberté, des roches liquéfiées, et différents gaz et vapeurs. Une telle hypothèse pourrait donner une explication plausible des soulèvements de quelques points de l'Italie; mais elle ne saurait rendre compte de l'exhaussement remarquable qui se produit depuis les temps historiques dans le continent de la Norwége et de la Suède[1] ; puisque ce mouvement n'est accompagné d'aucun dégagement ou éruption de gaz ou d'autres substances, qui puissent nous conduire à soupçonner à l'intérieur une décomposition de l'eau produisant l'élévation de température, qui donnerait lieu à son tour à la dilatation de cette portion de l'écorce.

Nos continents et la plupart de nos îles portent des traces évidentes d'anciens changements à la surface de notre planète dans les niveaux relatifs des terres et des mers. La presque-totalité des terres émergées aujourd'hui, doit avoir été formée sous les eaux de l'océan : on en a la preuve, non-seulement dans l'abondance des débris d'animaux marins que l'on trouve dans les couches ainsi formées, mais encore dans la structure des roches elles-mêmes : dans le fait, les roches qui ont pu être formées hors de la mer au même niveau qu'elles ont maintenant, n'occupent qu'une surface comparativement très-petite. Ce sont des produits volcaniques, des dépôts formés dans des lacs ou de grands amas d'eau douce, qui, en disparaissant, les ont laissés à sec, et quelques incrustations résultant de l'évaporation d'une eau chargée de substances étrangères, telles que le carbonate de chaux. Les roches dont l'origine marine est évidente, sont stratifiées, soit qu'elles aient été formées par voie chimique ou par voie mécanique, et lorsqu'on compare ces couches marines avec les roches stratifiées qui peuvent avoir été formées hors de la mer, on trouve une diversité de volume énorme entre les couches produites de ces deux manières différentes.

[1] Cet exhaussement ne paraît point uniforme, puisqu'on l'estime à quatre pieds par siècle dans la partie septentrionale du golfe de Bothnie, et qu'il diminue en allant vers le Sud, de manière qu'il n'est que de deux pieds par siècle sur la côte de Kalmar, et qu'il est tout à fait nul dans les îles d'Œland et de Gothland.

Nous avons fait remarquer ailleurs que de grands continents pourraient être produits par une excessivement petite inégalité de dilatation de l'écorce de la terre[1]; et le lecteur comprendra, en se reportant à la figure 21, avec quelle facilité peut s'opérer un tel phénomène. La ligne de la circonférence du cercle y représente une épaisseur de cent soixante mille mètres. Or, il est évident que si une circonstance quelconque vient à dilater cette épaisseur de $1/50$, en sorte que la partie extérieure du cercle soit élevée de $1/50$, nous aurons un soulèvement de plus de trois mille mètres, suffisant à élever au-dessus du niveau de la mer une quantité de dépôts formés sous ses eaux dans un grand nombre de localités. Cette dilatation, quelque énorme qu'elle puisse nous paraître lorsque nous mesurons les hauteurs par des unités qui ne sont que des fractions de la taille moyenne de l'homme, est tellement minime relativement au diamètre de la terre, que les petites dentelures inévitables dans l'impression d'une ligne telle que la circonférence de la figure 21, représentent des inégalités infiniment plus grandes.

Une telle contraction inégale de l'écorce du globe (quoique insignifiante, relativement au volume de la terre) aurait non-seulement pour effet, en produisant de grandes dépressions, de soulever en apparence des surfaces de grands continents en masse, mais elle presserait les côtés des principales fractures de la surface pour en former des chaînes de montagnes. Le mouvement général de contraction pourrait être si lent, que nous eussions des difficultés à le mesurer avec nos idées sur la durée du temps, tandis que la pression des côtés des grandes fissures, l'un contre l'autre, produirait çà et là des mouvements plus brusques, la force de contraction, quoique générale par sa nature, ne surmontant qu'à des intervalles inégaux les résistances qui lui sont opposées; il se produirait ainsi de ces dislocations instantanées, que l'homme appelle énormes en les mesurant d'après sa taille ou, plus souvent, par une unité plus petite encore. Cette cause agirait par elle-même sur une échelle trop vaste pour produire des volcans, qui paraissent plutôt des effets des grands mouvements de l'écorce du globe, que la cause de ces mouvements; les conditions de leur existence paraissant n'être que les effets d'une action beaucoup plus puissante et plus générale. Mais tandis qu'on assigne à la plus active de ces causes les phénomènes plus importants des dislocations, on peut rapporter aux volcans de petits effets de fractures; et il est probable qu'une grande partie des élévations, dépressions et fractures de la surface du globe,

[1] *Sections and Views illustrative of Geological Phænomena*, p. 71.

sont dues à l'ensemble de ces deux actions; bien entendu que les dislocations et les mouvements des fragments des terrains superincombants peuvent être tels à permettre l'intercalation et l'injection parmi ces fragments de matières ignées de diverse nature.[1]

[1] Afin de prévenir toute erreur, il est peut-être bon de rappeler que les remarques précédentes étaient rédigées telles absolument qu'on vient de les lire, avant que M. Babbage (ainsi que j'eus occasion de le lui dire lorsqu'il lut son mémoire à la Société géologique) me communiquât ses idées si intéressantes sur les oscillations du sol produites par des changements dans les dilatations et les contractions des roches; changements qui tiennent aux circonstances diverses dans lesquelles se sont trouvées les roches sous des surfaces douées de capacités diverses de rayonnement. Voici le passage auquel je renvoie dans le texte et qu'on peut lire dans l'ouvrage cité : « Il est évident, en voyant cette figure, qu'une « légère inégalité de contraction dans la masse de la terre produirait des chan- « gements que nous regarderions comme importants, et que de simples différences « thermométriques au-dessous de l'écorce terrestre suffiraient soit à élever des « continents au-dessus du niveau de la mer, soit à les replonger sous les eaux. » Afin de prévenir toute erreur encore, il convient de rappeler aussi que j'ai toute raison de croire que M. Babbage n'avait jamais lu le passage en question jusqu'à ce que je le lui eusse indiqué *après* qu'il m'avait communiqué ses idées sur le même sujet, et que je ne prétends nullement avoir eu la même opinion que lui sur les effets probables des causes qu'il admet *avant* qu'il me les eût indiqués lui-même.

CHAPITRE VIII.

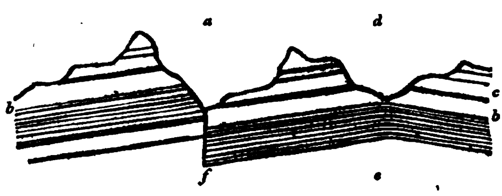
Lorsqu'on examine une carte géographique exacte qui représente la véritable constitution physique d'une chaîne de montagnes, une bonne carte des Alpes, par exemple, on est frappé de la disposition des vallées principales que l'on dirait être autant de fissures. Quelques-unes des vallées sont ordinairement parallèles à la direction de la chaîne principale, tandis que d'autres lui sont presque perpendiculaires. Examinées en détail, ces lignes de fractures ne sont pas rigoureusement droites; mais, vues dans leur ensemble, la tendance des vallées à prendre des directions longitudinales ou transversales est fort remarquable; au point que les auteurs de géographie physique ont divisé les vallées en *longitudinales* et *transversales*, sans rattacher à ces mots aucune idée sur l'origine des vallées. Si on vient à rechercher avec attention les causes de ces phénomènes, on arrive en général à découvrir que les vallées coïncident avec des lignes de dislocations ou de contournements brusques des couches. Les lignes des grandes vallées sont donc dans ces cas les lignes de grande fracture; leur disposition est celle absolument qui devrait résulter des causes du relief des chaînes de montagnes que nous avons mentionnées plus haut.

Les grandes fractures suivent généralement, ainsi qu'on doit s'y attendre, les lignes des vallées longitudinales, c'est-à-dire que la direction de ces vallées est celle des fissures suivant lesquelles s'est produit la plus grande quantité du mouvement vertical qui a élevé ou abaissé des portions de couches jadis continues. Les parois des vallées transversales paraissent en général avoir subi plutôt des mouvements horizontaux que verticaux, à moins que la chaîne de montagnes n'ait été coupée par des systèmes de fractures transversales de plusieurs époques géologiques différentes. Les couches des deux flancs des vallées transversales se correspondent assez, et le tout a plutôt l'apparence d'une fissure secondaire, due au fendillement de la masse qui a été soulevée suivant la direction de la vallée longitudinale.

Si l'on cherche à rapprocher, par la pensée, les diverses portions des couches fracturées d'une chaîne de montagnes, de manière à ce qu'elles viennent de nouveau former des plans continus, on re-

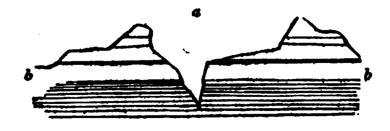
connaît bientôt qu'une grande partie de la matière de ces couches a été enlevée, et qu'il est impossible de reproduire en entier un grand massif continu avec ce qui reste des couches qui composent aujourd'hui les chaînes de montagnes.

Fig. 28.



Supposons que *a* (fig. 28) représente une vallée d'une chaîne de montagnes dont le fond suit une faille *f*, en conséquence de laquelle une couche bien déterminée *b* se trouve sur un des flancs à un niveau différent de l'autre. Il est évident que si nous cherchons à replacer les deux parties de cette couche à une même hauteur, en élevant un des flancs de la vallée ou en abaissant le flanc opposé, il n'y aura pas pour cela continuité dans l'ensemble des couches, car il manquera évidemment une grande quantité de la masse totale.

Fig. 29.



La figure 29 représente la couche *b* à la place qu'elle occupait antérieurement à la fracture du sol, et le vide *a* donnera une idée de la quantité de matière qui a été enlevée tant au-dessus qu'au-dessous de la couche *bb*. Si, au lieu d'une faille ayant produit un grand abaissement ou relèvement instantané d'une des parois, nous supposons que l'ouverture de la vallée résulte d'un arquement des couches inférieures qui aurait fracturé et séparé les parties supérieures de la masse stratifiée (accident qu'on peut souvent observer dans les chaînes de montagnes), et que nous cherchions, par la pensée, à remettre la couche arquée à la position horizontale, on trouve encore qu'il y a eu déplacement d'une portion des matériaux des couches, ainsi qu'on le verra facilement en ramenant à la position horizontale les couches *bc* (fig. 28) que nous supposons avoir

été soulevées par l'inflexion *e*, de manière à former les flancs de la vallée *d*.

Si maintenant nous calculons approximativement la quantité cubique de la matière contenue dans une chaîne de montagnes, telle que les Alpes, au-dessus d'un niveau déterminé; si nous cherchons en même temps à nous rendre compte de la quantité de matière qui serait contenue dans la masse des couches de cette chaîne, en supposant qu'elles n'aient été que fracturées, de manière à ce qu'on puisse en rapprocher les fragments en un tout continu, nous trouvons que la matière qui a été enlevée forme une masse très-considérable. De tels calculs ne peuvent être nécessairement que fort grossiers d'après la nature des données sur lesquelles ils sont basés; il est surtout très-difficile d'évaluer les effets des contournements des couches; mais on peut toujours conclure, avec assez d'exactitude, qu'il y a eu une grande masse de matière enlevée.

Parmi les agents que nous connaissons, il n'y a que l'eau courante qui puisse avoir enlevé cette masse de roches. Afin d'avoir une idée exacte du temps et des circonstances requises pour le déplacement d'une telle quantité de matière, il faut donc étudier avec soin le volume de cette matière, et calculer la force de transport des courants d'eau qui existent aujourd'hui dans les pays de montagnes, et qui charrient jusqu'aux plaines les débris arrachés aux parties centrales de la chaîne.

Les masses de neiges qu'on nomme ordinairement éternelles, parce qu'une quantité donnée n'en fond jamais dans les circonstances ordinaires où elles se trouvent placées, mettent la surface des roches qu'elles recouvrent à l'abri sinon de toute désagrégation, du moins de presque tout déplacement des fragments de cette surface, excepté lorsqu'une avalanche entame la calotte de neige plus profondément que de coutumé, ou qu'une portion de la masse qui supporte les neiges se précipite dans les vallées. Aussi longtemps que durera l'état de choses actuel, le dôme du Mont-Blanc sera recouvert par les neiges qui ont commencé à s'y accumuler dès l'instant où la température moyenne du climat et la hauteur de la montagne se sont trouvées être ce qu'elles sont aujourd'hui. Ces amas de neige protégeraient les détritus de la surface de la roche qui les supporte contre tout déplacement, si la neige ne tendait pas à se porter vers le bas des vallées sous forme de glaciers, ce qui donne lieu à un frottement qui peut entraîner à un niveau inférieur des débris de la surface qui se trouve au contact de ces neiges. Dans cette manière de voir, on ne saurait dire que les neiges éternelles mettent les surfaces qu'elles recouvrent à l'abri

de toute dégradation, quoique les circonstances y rendent cette dégradation peu active, et que la quantité de détritus ainsi produite n'ait qu'une petite importance relative.

Les parties des hautes chaînes de montagnes dans lesquelles se produit, toutes choses égales d'ailleurs, le plus grand nombre de gros blocs fragmentaires, sont les cimes élancées ou aiguilles, dont les fissures verticales ou fortement inclinées permettent seules l'accumulation de la neige qui ne peut s'arrêter à la surface des escarpements, et la zone comprise entre la limite des neiges éternelles et la hauteur à laquelle cessent les changements rapides du gel et du dégel. Si les flancs de la montagne sont escarpés et exposés aux alternatives du gel et du dégel, on trouvera à son pied des amas considérables de matériaux tombés des hauteurs. Dans les saisons où les neiges fondent sur les hautes cimes, et ruissellent à la surface des roches et dans les petits canaux qui leur servent d'écoulement, l'eau qui pénètre le jour dans les interstices des roches peut souvent s'y congeler la nuit. On sait que l'eau augmente de volume en passant à l'état solide; il s'ensuit que les portions des roches, ainsi soulevées de leur place originaire par la formation de la glace pendant la nuit, pourront se trouver hors de leur position d'équilibre et tomber lorsque la chaleur du jour fondra la glace qui leur servait de ciment. Si les centres de gravité de ces fragments se trouvaient placés de manière à n'en point nécessiter la chute immédiate, la répétition du phénomène tendrait non-seulement à les détacher de plus en plus, mais encore à les amener dans des positions où, s'ils ne tombaient pas par leur propre poids, ils pourraient être entraînés par l'action des grands vents d'orage, par le choc de fragments tombant de plus haut, ou par un éboulement partiel de la surface qui les supporte.

La chute des quartiers de roches due aux causes que nous venons d'énumérer, est arrêtée là où la température et les autres circonstances favorisent la végétation. Il est vrai que les racines ont une action puissante pour séparer les fragments les uns des autres, mais en même temps elles servent comme de lien entre les diverses masses qu'elles mettent à l'abri des influences atmosphériques habituelles, autres que les grands ouragans d'une violence extraordinaire. Moins les talus sont inclinés, plus la stabilité de la végétation est assurée sur les pentes des montagnes, et par conséquent la surface des roches se trouve mieux à l'abri de toute destruction, et il y a une moindre quantité des fragments entraînés vers le bas des montagnes. Les parties des hautes montagnes où, toutes choses égales d'ailleurs, nous devons nous attendre à trouver la dégradation la

plus active, sont les surfaces dénudées de roches brisées, comprises entre les neiges éternelles et la ligne où commence une végétation vigoureuse. Les dimensions des blocs détachés de la masse des roches dépendra nécessairement de l'angle plus ou moins grand d'inclinaison des pentes, de l'élévation relative des pics et des escarpements, de la nature de la roche, et du climat dans lequel se trouvent les chaînes de montagnes.

Les agents atmosphériques tendent donc constamment à démolir et à transporter à des niveaux inférieurs les fragments des massifs de roches qui se trouvent par une cause quelconque hors de leur position d'équilibre, dans les zones surtout dans lesquelles il y a alternative presque journalière du gel au dégel. A proprement parler, toutes les portions d'une chaîne de montagnes tendent à être plus ou moins dégradées par l'action des causes atmosphériques, et même les parties qui paraissent protégées par la végétation peuvent être minées accidentellement, de manière à ce que la masse des fragments liés entre eux par les racines des arbres soit emportée tout d'une pièce, si les arbres viennent à être déracinés et balayés devant la furie des eaux. Il faut se rappeler aussi que dans les hautes montagnes les talus des pentes, même de celles qui sont recouvertes de végétation, sont pour la plupart fortement inclinés, en sorte que les fragments minéraux et végétaux fortement atténués descendent facilement, suspendus mécaniquement dans les myriades de petits filets d'eau qui glissent presque imperceptibles à travers la végétation elle-même.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de l'action mécanique des causes atmosphériques ; les changements chimiques qu'elles peuvent opérer ne sont pas moins importants. Nous avons vu (page 63) que par suite de l'infiltration de l'eau une quantité de roches subissent des altérations dans leurs principes chimiques. Plusieurs de ces altérations facilitent la désagrégation des roches au point que des masses en apparence très-dures et très-résistantes sont entraînées par l'eau, à la simple action mécanique de laquelle elles auraient résisté pendant des siècles. La quantité d'oxigène contenue dans l'air que les eaux de pluie ont absorbé durant leur chute, doit contribuer de beaucoup à la formation des combinaisons chimiques dans les parties constituantes de quelques roches, qui, ainsi que l'a remarqué le docteur Boase[1], en deviennent plus faciles à désagréger. L'acide carbonique, absorbé de même dans l'atmosphère par l'eau de pluie, doit faciliter aussi la décomposition de plusieurs roches ; et comme

[1] *Contributions towards the Geology of Cornwall.*

l'air contenu dans l'eau provenant de la fonte des neiges paraît plus riche en oxigène que celui contenu dans l'eau de pluie ordinaire[1], nous devons nous attendre à ce que l'action de l'oxigène sur les roches soit plus énergique, là où elles sont imbibées par les neiges fondues, c'est-à-dire dans ces parties élevées des chaînes de montagnes qui se trouvent à la limite des neiges éternelles.

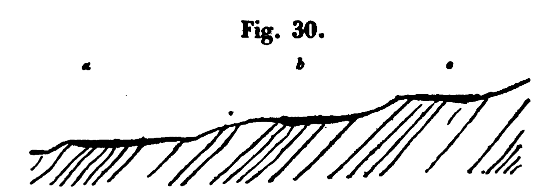
Nous voyons donc que, si une masse de roches fracturées est soulevée dans les hautes régions de l'atmosphère, ces roches seront attaquées immédiatement par les actions atmosphériques, et les agents actuels de dégradation pourront, dans un laps de temps suffisant, les réduire en fragments de différentes dimensions, que l'action de la pesanteur, celle des eaux courantes, ou la réunion de ces deux causes, transportera ensuite à des niveaux moins élevés. Plus le soulèvement d'une chaîne de montagnes aura été brusque, plus grande aura été la surface de roches fracturées, exposée tout d'un coup à l'œuvre destructive des agents atmosphériques; car le massif n'aura pas été porté de bas en haut tout d'une pièce, sans fentes ni fractures, mais il y aura eu des forces disloquantes qui auront agi sur les couches dans diverses directions. Dans un tel état de choses, avant qu'une végétation nouvelle ait pu protéger les surfaces fracturées, le jeu des actions météoriques n'étant limité par aucun des obstacles actuels, les masses rompues et réduites en fragments auront été transportées là où les faibles talus et les dépressions du sol auront pu les arrêter, et en conséquence la plus grande quantité de ces détritus se sera rassemblée dans les parties inférieures du terrain disloqué, pour y constituer le fond des vallées.

Il est bien difficile de supposer qu'un système de dislocations et de fentes produites dans le soulèvement d'une chaîne de montagnes ait offert aux eaux un écoulement si régulier, qu'il ne dût pas s'en accumuler des masses dans les parties les plus basses de certaines dépressions. Il a dû se former des lacs plus ou moins étendus dans un grand nombre de vallées, et leur fond aura servi de lieu de dépôt aux fragments détritiques qui y auront été entraînés par les eaux dans leur descente rapide vers les niveaux inférieurs. Ces lacs auront disparu graduellement, soit par l'érosion des barrages qui en retenaient les eaux, soit par l'accumulation lente des débris qui auront fini par les combler. Dans le premier cas, nous devrions avoir des traces évidentes de l'ancienne existence de ces lacs par les marques de diverses lignes de niveau sur les flancs des vallées,

[1] MM. Gay-Lussac et Humboldt ont trouvé 34,8 pour cent d'oxigène dans l'air renfermé dans la neige, et 32 pour cent dans celui de l'air contenu dans l'eau de pluie.

ou par des coupures dans la masse du dépôt détritique ; dans le second, nous aurions une plaine entourée par des montagnes à pentes rapides et traversée par un cours d'eau. Une troisième cause aurait pu faire disparaître probablement aussi quelques-uns des lacs avec des effets très-marqués sur les vallées inférieures. La destruction soudaine du barrage inférieur d'un lac, occasionnée par des phénomènes de dislocation suivant la ligne de la vallée (celle suivant laquelle précisément doivent se faire jour les forces souterraines, comme étant la ligne de moindre résistance), aurait pour effet non seulement de dessécher le lac, mais encore de jeter brusquement une vaste masse d'eau sur les terrains situés à un niveau inférieur. Les dégâts produits par cette débâcle dépendraient nécessairement du volume et de la vitesse de la masse d'eau ; l'un et l'autre différeraient suivant les circonstances ; mais nous pouvons bien nous figurer quels changements il devrait résulter dans la configuration du sol, du comblement des lacs inférieurs, de la descente à des niveaux plus bas de grands amas de détritus et du transport de blocs trop volumineux pour être déplacés par les cours d'eau ordinaires, même dans leurs plus grandes crues.

Fig. 30.



Soient *a*, *b*, *c* (fig. 30) des lacs résultant des inégalités du fond d'une vallée de montagnes, il est évident qu'ils pourront tous être remplis contemporainement (c'est-à-dire dans une même période géologique) par des matières détritiques renfermant des dépouilles d'animaux terrestres ou d'eau douce, qui auront vécu à la même époque sur les hauteurs voisines ou dans les lacs mêmes. Mais à moins que des détritus abondants ne soient amenés (ce qui arrive fréquemment) des montagnes latérales dans les lacs inférieurs, ceux situés à la partie supérieure de la vallée tendront à être comblés plus tôt que les autres, comme recevant les premiers tous les détritus transportés par les cours d'eau dès leur origine.

Les phénomènes que nous venons de décrire comme produits par les actions météoriques sur de grandes masses de roches qui seraient fracturées et poussées dans les hautes régions de l'atmosphère pour y constituer des chaînes de montagnes, offrent une telle ana-

logie avec les faits qui s'observent dans les Alpes et dans les autres grandes chaînes, que l'on est irrésistiblement entraîné à assigner à ces faits une origine analogue à notre hypothèse. Un grand amas de matière a pu se détacher des montagnes, surtout lorsque les fractures en étaient récentes, pour être transporté au dehors de la chaîne par l'action longuement continuée des causes qui agissent maintenant à la surface du globe, et dont on observe surtout les effets dans les hautes montagnes. Il reste pourtant encore à savoir s'il a pu en être enlevé ainsi des masses de débris suffisantes à remplir le vide qui reste entre les diverses portions des couches lorsqu'on essaye de les remettre dans leur entier telles qu'elles devraient être avant leur soulèvement (fig. 28 et 29).

Nous ne nous sommes occupé jusqu'ici du soulèvement des masses de montagnes que dans la supposition que ce soulèvement avait lieu dans l'atmosphère. S'il se formait aujourd'hui une chaîne de montagnes, il y aurait probabilité, vu que les mers ont une étendue trois fois plus grande que celle des terres, que le soulèvement aurait lieu sous les eaux de l'océan. Or, s'il se produisait, sous les eaux, une ligne de fractures longitudinales, accompagnée de dislocations transversales, ces eaux seraient agitées nécessairement avec plus ou moins de violence, suivant la rapidité du soulèvement, et suivant le volume et la hauteur des masses redressées et disloquées. Tous les fragments détachés seraient entraînés à des niveaux inférieurs, le fond des vallées serait rempli de débris détritiques, et une grande quantité en pourrait être transportée de chaque côté aux pieds de la chaîne de montagnes sous-marine. Plus l'eau sera dense et chargée de matière en suspension mécanique, plus les courants pourront transporter avec facilité des fragments volumineux, d'après la moindre différence de pesanteur spécifique entre les blocs et l'eau qui les charrie. La surface de la chaîne offrirait de grandes aspérités; mais s'il y avait une profondeur d'eau suffisante, les détritus mécaniquement suspendus se déposeraient successivement, les plus ténus se plaçant à la partie supérieure des nouvelles couches.

Si une chaîne de montagnes ainsi formée sous les eaux venait à être émergée graduellement, c'est-à-dire par des mouvements successifs de bas en haut, elle serait d'abord assujettie près de la surface à l'action des marées, des courants et des vagues, et il y aurait ainsi un grand déplacement de matériaux, surtout dans les parties non consolidées. Si l'émersion s'opérait plus brusquement, l'action destructive serait plus grande encore; mais, dans les deux cas, dès que la chaîne de montagnes paraîtrait au-dessus des eaux, elle serait sujette aux actions météoriques et à toutes les dégradations

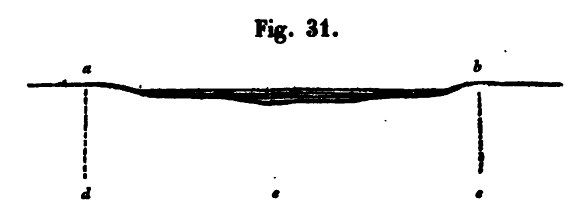
qui en sont les conséquences. Les inégalités des grandes vallées donneraient lieu à des lacs, qui seraient peu à peu remplis par les détritus charriés par les eaux; les flancs des montagnes seraient entamés, et l'ensemble des effets produits après un certain laps de temps ressemblerait tellement à ceux que nous avons rapportés plus haut, qu'on ne pourrait guère décider si les dislocations originaires ont eu lieu dans l'atmosphère ou sous les eaux. Si cependant des dépôts détritiques s'étaient formés, dans ce dernier cas, dans les grandes lignes des vallées, et si ces dépôts contenaient des fossiles marins, on ne pourrait révoquer en doute que le fond au moins de ces vallées ait fait partie jadis d'une chaîne de montagnes sous-marine, et que cet état de choses ait duré un temps assez considérable pour permettre le dépôt tranquille des couches observées.

Soit donc que les chaînes de montagnes surgissent au fond des mers ou sur les continents, il doit y avoir une grande quantité de matière solide enlevée à leurs masses; mais ce sera probablement dans le cas de dislocations qui auront porté immédiatement dans l'atmosphère une partie du fond des mers, qu'une plus grande quantité de détritus sera enlevée aux nouvelles montagnes; car il se produira dans ce cas, à la surface de la mer, des vagues d'une grande puissance destructive et d'une hauteur proportionnée à la force disloquante, qui s'engouffreront dans les fentes nouvellement formées et en arracheront des masses de débris. Dans tous les cas cependant, les cours d'eau qui ont produit les effets nombreux qu'on observe dans les chaînes de montagnes, doivent provenir de causes atmosphériques; les érosions y portent l'empreinte d'une action longtemps continuée de petits cours d'eau doués d'une grande rapidité, et les matières de transport qu'on trouve dans les montagnes mêmes y sont disposées ainsi que le seraient naturellement les dépôts de ces cours d'eau. On pourrait en conclure que nous avons là un moyen de mesurer le temps depuis lequel une chaîne de montagnes est émergée, en le calculant d'après la quantité de détritus accumulée dans une position donnée. Mais un peu de réflexion nous montrera facilement que de tels résultats sont beaucoup trop compliqués pour donner lieu à autre chose qu'à des conclusions très-générales; il est évident qu'une grande quantité des détritus accumulés par l'action lente des cours d'eau des montagnes ont exigé un temps considérable pour leur dépôt; mais nous ne pouvons calculer la longueur de ce temps d'une manière plus positive. Un cours d'eau d'une force donnée peut se trouver favorisé par les circonstances de manière à produire dans un temps donné un dépôt de matières détritiques beaucoup plus considérable que celui

que formera dans un temps égal un cours d'eau d'une force égale qui se trouvera dans des circonstances moins favorables à la production des détritus.

Comme on observe dans plusieurs chaînes de montagnes et dans leurs grandes vallées des faits qui paraissent exiger le passage violent d'une grande masse d'eau, les géologues qui désirent expliquer tous les phénomènes par des forces d'une intensité analogue à celles que nous voyons en action de nos jours, ont eu recours fréquemment à ce qu'on a appelé la *débâcle d'un lac*. Leur idée paraît être qu'il existe une certaine force inhérente à l'existence même du lac, capable de démolir la barrière solide que forment ses rives. Si l'on se rappelle que presque tous les lacs ne sont que des bas-

Fig. 31.



sins d'eau peu profonds, dont les côtés s'élèvent sous de très-petits angles, moindres souvent que ceux de la figure 31, on verra aisément que la pression de l'eau contenue dans ces bassins, doit être si petite, relativement à la résistance des côtés, qu'il n'en peut absolument résulter aucune fracture. Si, au lieu de supposer les flancs presque horizontaux, comme dans la figure 31 (ce qui est le cas le plus fréquent dans la nature lorsqu'on fait une coupe à travers le canal servant à la décharge des eaux d'un lac), nous les supposons verticaux comme en *ad* et *be*, en sorte que les eaux du lac soient supportées par le massif solide *adceb*, on trouve encore que les côtés seraient capables de résister à la pression de l'eau, si le bassin entier est, comme dans les cas ordinaires, d'une certaine solidité.

Si l'on fait des coupes proportionnelles de tous les grands lacs connus, on trouvera que la masse d'eau qu'ils contiennent ne pourrait jamais exercer une pression capable de briser leurs bords. Ce ne serait que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles que la digue solide d'un lac pourrait être entraînée, ainsi que nous avons eu occasion de le remarquer ailleurs[1]. Si l'on était entré dans quelque calcul relativement à la pression que les eaux d'un

[1] *Manuel géologique*, art. *Dégradation des continents.*

lac peuvent exercer sur leurs digues naturelles, nous aurions probablement moins entendu parler des *débâcles de lacs*, dues à cette cause. La décharge soudaine des amas d'eau formés dans quelques vallées par des avalanches de glace qui en avaient barré l'écoulement, comme dans la vallée de Bagnes, paraît avoir conduit à des idées erronées sur la faculté qu'aurait l'eau d'un lac d'entraîner ses digues. 530 millions de pieds cubes d'eau se précipitant d'un lac ainsi formé, parcoururent, dans une demi-heure environ, une gorge étroite, et durent nécessairement, dans de telles circonstances, entraîner devant eux des blocs énormes. La rapidité du torrent, à sa sortie du glacier, était, suivant M. Escher de la Linth, de 33 pieds par seconde, en sorte qu'en prenant en considération la masse de l'eau et sa vitesse, nous avons une force de transport très-puissante; mais il est difficile de comprendre en quelle manière un tel événement peut venir, ainsi qu'on l'a dit, à l'appui des idées de démolition des digues de roches d'un lac par la pression de ses eaux. Des lacs formés par la chute de masses de rochers en travers des vallées, peuvent, jusqu'à un certain point, être desséchés subitement, si la résistance de la digue ainsi produite est plus faible que la pression de l'eau; le même effet se produira si des détritus amenés par un cours d'eau latéral, viennent barrer la rivière principale, et que la digue ainsi formée ne puisse résister à la force de cette rivière: mais ce sont là des phénomènes entièrement différents des *débâcles* de grands lacs, comme ceux de l'Amérique septentrionale ou même ceux qu'on trouve sur les deux revers des Alpes.

Il doit très-rarement y avoir un concours de circonstances qui permette le desséchement instantané d'un lac par la rupture de ses digues solides, due à la pression de ses eaux, et par conséquent les débâcles dues à cette cause doivent être excessivement rares; mais il n'en peut pas moins arriver facilement que des lacs soient desséchés subitement par la rupture de leurs rives, causée par des tremblements de terre ou des actions plus énergiques du même ordre. Dans toutes les chaînes de montagnes qu'on a examinées attentivement jusqu'ici, on a trouvé des traces de plusieurs actions de soulèvement, dont l'ensemble aurait produit le relief actuel de ces chaînes. On reconnaît les époques géologiques auxquelles ces actions ont eu lieu, par l'âge des roches de sédiment qui ont recouvert les tranches des couches qui venaient d'être soulevées. Connaissant bien ces couches, et sachant quel est leur équivalent dans la série géologique, on est certain que le mouvement de dislocation a eu lieu après la consolidation des roches inférieures, et antérieurement au dépôt de celles qui reposent sur les tranches des

couches disloquées et redressées ; et il est prouvé, en outre, qu'après que les roches plus anciennes ont été redressées, elles ont resté assez longtemps dans leur nouvelle position pour permettre le dépôt tranquille des couches qui les recouvrent.

Or, l'existence sur les flancs d'une chaîne de montagnes de couches qui reposent sur la tranche d'autres couches, prouve seulement qu'une force quelconque a redressé les unes avant le dépôt des autres, et nullement que les premières dussent former une chaîne de montagnes avant le dépôt des plus récentes. Rien n'est plus commun que de rencontrer des couches se recouvrant en stratification discordante, et dont l'ensemble constitue un pays qu'on peut appeler de plaine. Si cette plaine était relevée brusquement, de manière à former une chaîne de montagnes par l'intercalation de roches inférieures suivant la ligne principale d'une fracture longitudinale, ou par une pression des parois de cette même fracture qui en relèverait les arêtes, on serait induit en erreur si on croyait que le soulèvement s'en est fait en deux fois au lieu d'une, simplement parce que l'on trouve sur les flancs de la chaîne des couches qui reposent sur d'autres en stratification discordante. Il faut que l'intérieur de la chaîne elle-même porte des traces évidentes de la répétition des mouvements de soulèvement.

Fig. 32.

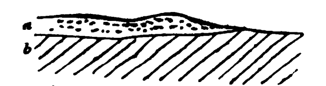
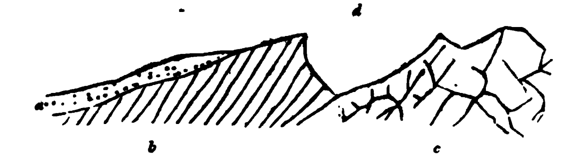


Fig. 33.



Soit *a* (fig. 32) une couche reposant en stratification discordante sur des couches *b*, antérieurement redressées, le tout formant la surface d'un pays qu'on puisse comparativement appeler de plaine ; et *a*, *b* (fig. 33) le même ensemble de couches soulevé par l'intercalation du massif *c*, on aura là des apparences qu'on pourrait croire dues à deux actions de soulèvement qui se seraient exercées sur un même système de montagnes. Il y aurait bien eu action de

deux forces intérieures, mais la seconde aurait seule produit le relief actuel de la chaîne; tandis que, si les couches inclinées *b* avaient été déposées d'une manière analogue à ce que nous avons dit (p. 34), il n'y aurait eu là réellement qu'une seule action intérieure de dislocation et de soulèvement.

Si cependant une chaîne de montagnes venait à subir, n'importe par quelle cause, plus d'une action de soulèvement, et que les forces intérieures eussent une intensité suffisante, la ligne des grandes vallées offrant moins de résistance, tout le système de lacs existant dans une période, pourrait être desséché instantanément lors de la dislocation suivante, et la masse d'eau qui se précipiterait à la partie extérieure de la chaîne, pourrait entraîner une quantité considérable de détritus, qu'elle déposerait, suivant les circonstances, dans la mer ou à la surface des plaines.

Lorsqu'on examine les masses immenses de conglomérats, si fréquentes le long des flancs et des extrémités des chaînes de montagnes, on les trouve composées, quel que puisse être d'ailleurs leur âge relatif, de fragments arrondis ou anguleux de même nature que les roches qui constituent les montagnes elles-mêmes. On est porté à juger, d'après l'étendue et la continuité des couches de ces conglomérats, quelle a dû être la nature des causes qui les ont produites. Lorsque ces couches se continuent sur de grandes étendues en conservant leurs mêmes caractères, on les rapporte à une action plus générale que lorsqu'on les voit interrompues irrégulièrement après de courts intervalles. Plus un lit de conglomérats est loin des montagnes dont sont dérivés ses cailloux (et qu'il soit en même temps semblable à d'autres conglomérats plus voisins de la chaîne), plus a dû être énergique, toutes choses égales d'ailleurs, la force qui a transporté les éléments de ce conglomérat. Lorsque des grès et des conglomérats alternent entre eux, on en conclut qu'il y a eu des inégalités dans la force de transport, et par conséquent que les causes de cette force agissaient d'une manière irrégulière. Le volume, la forme et la pesanteur spécifique des fragments, peuvent donner quelques notions sur les forces de transport relatives, si l'on est certain que le fond sur lequel toute la masse des fragments a été transportée avant son dépôt, était en général semblable. On doit nécessairement trouver de grandes irrégularités dans la forme et le volume des cailloux déposés à l'embouchure des torrents: et après un certain temps, lorsque le sol sera nivelé sur quelque étendue, il sera difficile aux mêmes torrents de transporter jusqu'à leur embouchure des cailloux un peu volumineux. Il s'ensuit que si on trouve des couches suivies de conglomérats qui se continuent à quelque

distance des montagnes desquelles proviennent leurs cailloux, on doit penser que ces conglomérats ont été formés par quelque force plus générale que celle des cours d'eau qui descendent de la chaîne; ou bien que, les fragments ayant été entraînés par ces cours d'eau, quelque cause générale les a ensuite distribués d'une manière plus régulière que n'auraient pu le faire les rivières elles-mêmes.

Si plusieurs rivières transportent dans la mer les détritus d'une chaîne de montagnes, les vagues tendront indubitablement à étendre les cailloux, même volumineux, en forme de bancs de galets parallèles au rivage; et si le transport des cailloux a lieu sur une grande échelle, l'opération des vagues finira par augmenter ces bancs et produire des couches de conglomérats. Il serait difficile d'avoir de la même manière des couches régulières de grès d'une grande étendue, quoique des coupes locales de quelques points de la plage puissent offrir des alternances de sables et de cailloux roulés.

Si l'on a égard aux diverses causes qui peuvent produire un transport de détritus des chaînes de montagnes aux plaines, il paraît prématuré de déterminer *à priori* qu'il n'y a jamais eu qu'une seule de ces causes qui ait été en action. Il est plus rationnel d'étudier avec attention les diverses circonstances qui se rattachent aux dépôts provenant des montagnes dont ils sont voisins, c'est-à-dire, d'examiner les effets produits, et de remonter ensuite aux causes probables des faits observés, que de prétendre déterminer les causes sans examiner à fond les effets. C'est pourtant le dernier parti qu'on prend le plus souvent, et c'est là la conséquence nécessaire de l'adoption d'une seule théorie par laquelle on veut tout expliquer. Il est possible qu'on arrive ainsi à la vérité, au milieu de mille hypothèses diverses; mais ce ne peut être que très-rarement, et le plus souvent par un pur effet du hasard.

CHAPITRE IX.

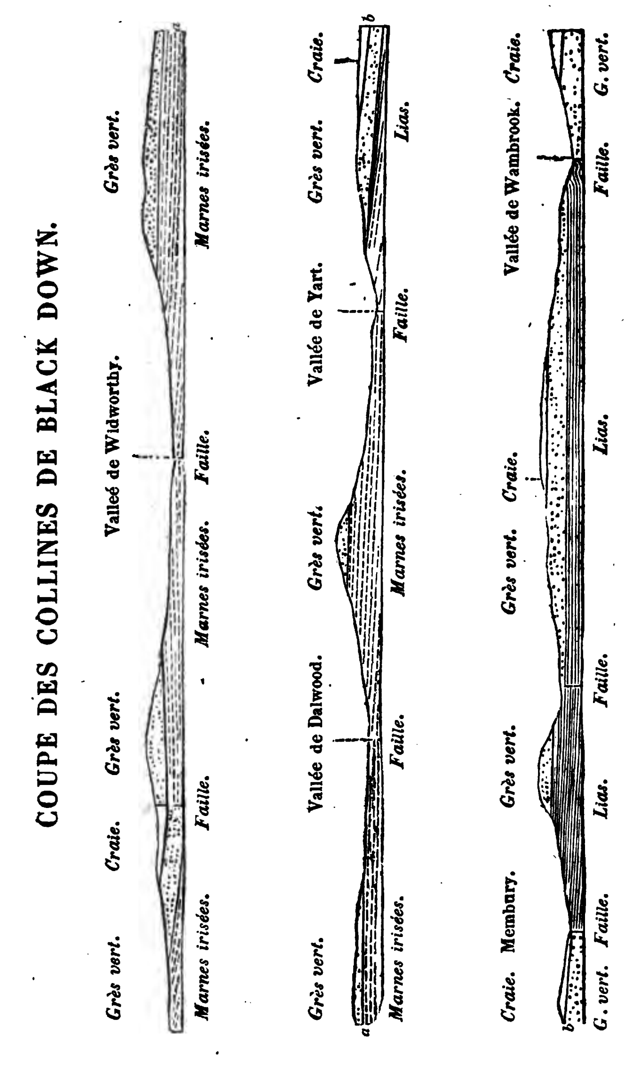
Les dislocations des terrains et les failles constituant des lignes de vallées, ne sont point un phénomène particulier aux chaînes de montagnes, quoique ces accidents y soient plus frappants qu'ailleurs; on en observe fréquemment aussi dans les régions de collines dans lesquelles la coupe de la surface du sol est représentée par une ligne ondulée et non par une ligne brisée à différents angles, comme dans les pays de montagnes. La grandeur des dislocations est nécessairement bien moindre dans les pays de collines, soit que cela tienne à une plus grande distance du centre du mouvement, ou à une moindre intensité dans la force qui a produit les failles. Quelquefois les dislocations se sont faites sur une si grande échelle, qu'il est impossible de n'en pas être frappé, tandis que d'autres fois elles sont si peu apparentes, ou tellement recouvertes par la végétation et les débris des roches, qu'il faut les observations les plus minutieuses pour s'assurer de leur existence. Les circonstances les plus favorables à l'observation sont des couches horizontales ou légèrement inclinées, un pays coupé par un grand nombre de rivières ou par une ligne de falaises, et des roches tellement caractérisées que tout changement dans leur ordre naturel de superposition soit facile à vérifier.

Dans plusieurs pays de collines, des couches d'une époque plus récente recouvrent en stratification transgressive les couches plus anciennes, et les vallées coupées à travers les couches supérieures jusqu'à mettre à nu les inférieures, paraissent, à un observateur inexpérimenté, ne résulter que d'une action de creusement due à un courant d'eau capable d'entamer le sol jusqu'à une profondeur suffisante. On peut croire souvent qu'il y a là un dépôt moderne non disloqué, qui repose en couches horizontales, ou tout au moins approchant de l'horizontalité, sur des couches inférieures qui ont été mises à découvert par une dénudation due à des forces qui ont agi suivant des lignes déterminées. Les collines de *Black Down,* situées entre les comtés de Devon et de Somerset, offrent des exemples frappants de ces fausses apparences. Lorsqu'on les observe d'une manière superficielle, elles paraissent composées de couches horizontales ou presque horizontales du grès vert, qui recouvrent soit l'oolite inférieure, soit le lias ou les marnes irisées (car, dans ces

collines, les deux premiers de ces dépôts se terminent en s'amincissant au-dessous des couches plus étendues du grès vert), et qui supportent çà et là des lambeaux de craie. Le pointement des terrains inférieurs paraît n'être dû qu'à la profondeur relative des diverses vallées qui ont été creusées par l'action des eaux. La coupe représentée dans la figure 34, montre cependant que les couches de ces

Fig. 34.

COUPE DES COLLINES DE BLACK DOWN.



collines ont été fracturées après leur dépôt, et que toutes les vallées y suivent des lignes de failles. Ces failles, quoique irrégulières lorsqu'on les considère en détail, ont pourtant une direction générale vers le Nord, si l'on en considère l'ensemble dans toute l'étendue de ces collines.

La coupe de la figure 34 suit une direction approchant du Sud-Ouest au Nord-Est, perpendiculaire, à peu de chose près, à la plupart des vallées qu'elle traverse; ces vallées sont presque parallèles entre elles dans l'étendue de pays que parcourt cette coupe. De toutes ces vallées, celle de *Widworthy* est celle qui offre le moins de traces de dislocation; et ce n'est que par un examen attentif des différences de niveau relatif entre les assises du grès vert de chaque côté de la vallée, tout en tenant compte de l'inclinaison de ces assises, que l'on peut s'assurer qu'il y a là réellement une faille. Le restant de cette coupe n'exige aucune explication, si ce n'est qu'à la faille de la vallée de *Wambrook,* là où le lias se termine contre le grès vert, le premier est beaucoup plus fortement arqué et contourné près de la ligne de dislocation qu'on n'a pu l'exprimer d'après l'échelle de la coupe. Cette coupe est proportionnelle; c'est-à-dire que les hauteurs verticales et les distances horizontales y sont sur la même échelle; et le lecteur peut y prendre une idée de la configuration réelle du sol dans une contrée qu'on est généralement porté à croire fort montueuse; contrée dans laquelle les voyageurs décriraient des pentes abruptes, des vallées profondes, des collines élevées. Les sommités les plus élevées de cette coupe varient de 500 à 600 pieds au-dessus du niveau de la mer.

Il n'est point de géologue qui ne sache que toutes les failles ne sont point nécessairement des lignes de vallées; et dans la coupe ci-dessus, que nous avons rapportée pour montrer la coïncidence remarquable qui existe entre les lignes de plusieurs de ces vallées et celles des failles, on verra, en effet, qu'il n'y a point de vallée à la faille près de *Widworthy,* où la craie butte contre le grès vert. Si l'on avait fait passer la coupe un peu plus au Sud, le grès vert paraîtrait se relever brusquement et former une bosse plus élevée que la craie. La faille de *Wambrook*, dans son prolongement vers le Nord, coupe de même le sommet de la haute colline nommée *Coombe Beacon,* qu'elle partage, géologiquement, en deux masses, dont l'occidentale est composée de grès vert, et l'orientale de craie; tandis que la forme extérieure en est arrondie et entière, comme si jamais aucune dislocation n'eût fracturé les couches qui en constituent le sol. Les ouvriers des mines de houille, auxquels l'allure des failles est familière, savent fort bien qu'elles ne corres-

pondent pas toujours aux lignes des vallées; celles même dans lesquelles les travaux font connaître des changements considérables dans le niveau des couches, n'indiquent souvent leur existence par aucune dépression de la surface du sol.

Lorsque nous disons que les fractures ou dislocations des couches coïncident fréquemment avec la direction des vallées, nous voulons simplement appeler l'attention sur les accidents nombreux le long desquels se dirigent les vallées, dans les pays ondulés et montueux, pour suivre les lignes des failles, sans vouloir nullement affirmer qu'il ne puisse y avoir des vallées en grand nombre qui doivent leur existence à la seule action érosive de l'eau sur des couches qui n'ont point été disloquées, du moins suivant la direction de ces vallées. Que les courants d'eau qui ont façonné la partie extérieure de l'écorce solide du globe en forme de vallées, et qui ont transporté les détritus résultant de ce creusement dans des localités où le dépôt en a donné lieu à des roches, géologiquement parlant, nouvelles, aient été l'effet du plus ou moins d'intensité d'une force quelconque, ou qu'ils aient été dus à une cause particulière, il n'en est pas moins vrai que les fentes et fissures préexistantes devaient offrir, surtout au moment où elles venaient de se former, les lignes de moindre résistance à la puissance érosive de l'eau. Soit donc que les vallées soient dues à l'action longtemps continuée des eaux courantes, ou au creusement produit par de grandes masses d'eau douées d'une grande rapidité, nous devons toujours nous attendre à trouver, et nous trouvons en effet, une coïncidence frappante entre les lignes des failles et les directions des vallées.

Lorsqu'on examine avec attention de véritables coupes proportionnelles d'un pays montueux, des coupes dans lesquelles les contours de la surface aient été tracés avec fidélité, on trouve que les dépressions et les élévations sont si peu de chose, comparées aux distances horizontales, que si l'on construit un plan proportionnel en relief d'un pays très-montueux, du Devonshire, par exemple, on a de la peine à croire qu'on y ait donné aux hauteurs leur élévation véritable, tellement elles paraissent peu distinctes. On est porté alors à conclure qu'un tel modèle est fautif, quoique construit avec tous les soins imaginables, tant il paraît en désaccord avec nos idées sur les hauteurs et les dépressions du pays lui-même. Sans doute qu'en l'examinant avec attention, en y comparant les distances verticales aux horizontales, on finit par se convaincre que l'on a sous les yeux un véritable modèle en miniature d'une portion donnée de la surface du globe; mais toutes nos idées antérieures relativement à ce pays, ayant été basées sur des mesures de hauteur

rapportées à la taille de l'homme comme unité, et le point de vue sous lequel on voit les pentes des collines nous exagérant toujours l'angle de ces pentes, il nous en reste une habitude de mal juger les mouvements du sol d'une contrée montueuse; habitude dont ne peuvent se faire une idée les personnes qui n'ont jamais vu un modèle proportionnel en relief d'une contrée montueuse.

On a supposé quelquefois que des courants marins ou la force des marées pouvaient suffire au creusement de certaines vallées. Mais si l'on fait attention à ce qui se passe aujourd'hui sur les points les plus favorables à l'action érosive des marées et des courants, c'est-à-dire le long des côtes de l'océan, là où leur vitesse est la plus considérable, on ne découvre aucun fait qui vienne à l'appui de cette supposition; et il ne paraît pas non plus qu'aucun des courants existant aujourd'hui ait la force de creuser des vallées sous-marines. Les sondages autour des côtes n'offrent aucune ligne de dépression que l'on puisse considérer comme formant une vallée; ils indiquent, au contraire, des surfaces étendues qui, élevées au-dessus du niveau de la mer, formeraient de grandes plaines, offrant çà et là quelques petites protubérances et quelques dépressions généralement en forme de bassins. Il y a bien dans la mer du Nord quelques dépressions en forme de sillons, qu'on appelle les Puits d'argent (*Silver Pits*), mais elles n'ont rien de commun avec les systèmes des vallées de nos continents[1]. Si les îles Britanniques

[1] Je suis redevable au capitaine Hewett, de la marine royale, dont les belles cartes, inédites encore, de la mer du Nord représentent si bien la conformation de ces lignes singulières de puits ou bassins, de quelques renseignements qui me porteraient à croire que les *Silver Pits* sont des fractures ou fissures analogues à ce qu'on a nommé des vallées d'élévation. On observe, comme un fait général, que le fond de la mer s'élève de chaque côté jusqu'au bord de ces *puits*, où il s'abaisse brusquement, par des pentes très-escarpées, depuis quelques brasses jusqu'à quarante ou cinquante brasses. Dans un des bassins on observe une élévation centrale, de sorte que la coupe d'un de ces *puits*, passant par leur plus grande profondeur, donnerait absolument le même profil que présentent les vallées d'élévation, si bien connues des géologues, qui ont été produites par une rupture due à une force agissant de bas en haut, et qui se trouvent souvent au sommet d'un grand angle de plissement des couches. Une ligne de bancs de sable court dans une direction remarquablement parallèle à celle des *Silver Pits;* elle est parallèle en même temps à une autre ligne de bancs situés plus au Sud-Est; le tout paraît avoir résulté de l'action d'une force de soulèvement dirigée sensiblement du Nord-Ouest au Sud-Est.

Le lecteur ne manquera pas d'observer, dans la carte ci-jointe, que la direction Sud-Ouest et Nord-Est de la limite occidentale des sondes de cent brasses coïncide avec la direction générale des couches les plus anciennes d'une grande partie des îles Britanniques.


Page 135.

Lith. de F. G. Levrault.

étaient soulevées de cent brasses au-dessus du niveau de l'océan et réunies ainsi au continent européen, elles se trouveraient entourées d'une grande extension de pays de plaine; car la pente, depuis les bords de la mer actuelle jusqu'à la nouvelle ligne des côtes, serait en général si douce, qu'elle présenterait l'aspect d'une plaine parfaitement horizontale.

La carte ci-contre fait voir l'étendue du fond de la mer qui serait mis à sec par ce faible changement de niveau relatif de la terre et de la mer. Les parties laissées en blanc représentent la surface du sol actuellement émergé; celles qui sont légèrement ombrées, la portion du fond de la mer qui se trouverait découverte; et les parties plus foncées figurent ce qui resterait recouvert encore par les eaux de l'océan. Le lecteur peut juger de l'étendue de pays qui serait ainsi mise à sec, en la comparant avec le carré ci-dessous (fig. 35), qui représente une surface de mille milles carrés, sur

Fig. 35.

la même échelle. Sur toute cette étendue il n'y aurait aucun système de collines et de vallées correspondant à celles de la surface du sol actuellement à découvert. Il y aurait bien quelques élévations et dépressions provenant des bancs de sable et de quelques fosses ou puits; mais si l'on construit une coupe proportionnelle générale du fond de la mer, même sur une grande échelle, on trouve que ces inégalités sont en général peu importantes, à l'exception des *Silver Pits* mentionnés plus haut; quoique, par cela seul qu'on donne la cote de ces inégalités dans les cartes marines, on soit porté à leur assigner plus d'importance qu'elles n'en ont réellement. On peut remarquer ici que si, au lieu de prendre le contour donné par les sondes de cent brasses, nous eussions choisi celui des deux cents brasses, l'étendue de la surface ajoutée ainsi à celle que nous avons supposé mise à sec, aurait été peu considérable, la seconde de ces lignes n'étant pas très-éloignée de la première. Ainsi la surface totale du terrain émergé dans ce dernier cas, limité à l'Ouest et au Nord-Ouest par une ligne qui irait de la côte de France à celle de Norwége en embrassant les îles Britanniques, après avoir constitué une très-grande plaine, se terminerait vers la nouvelle côte par un talus, qui plongerait,

d'une manière comparativement abrupte, dans une mer profonde.[1]

Or, toute cette grande surface comprise dans la ligne des cent brasses, est placée dans les circonstances les plus favorables à la production de vallées par l'action érosive des marées et des courants, si cette action était capable jamais de produire de tels effets; car la profondeur de l'eau étant peu considérable, le fond de la mer se trouve exposé à toute l'influence des courants et marées, dont l'énergie doit être augmentée encore par la vitesse que leur donne le voisinage des côtes et des bancs de sable. Il est vrai que l'action des vagues tendrait à niveler le fond de la mer et contrebalancerait ainsi l'action érosive des courants et des marées; mais cela seul prouve que l'ensemble des circonstances s'oppose au creusement des vallées par les mouvements des eaux. On admettra facilement que plus la mer est profonde, moins les courants et les marées doivent avoir de prise sur le fond de son lit; nous sommes donc autorisé à conclure que les courants et les marées doués des vitesses que nous leur connaissons, ne peuvent creuser, dans quelque profondeur d'eau que ce soit, des vallées ressemblant à celles que l'on observe dans les pays montueux.

Lorsque l'on étudie les sondages le long d'une ligne de côtes, on voit que les vallées des continents se prolongent rarement sous la mer, excepté dans les localités où des montagnes plongent brusquement dans l'eau. En général, les vallées se terminent abruptement à la rencontre de la mer, ainsi que cela devrait arriver si la mer a fait reculer la côte; car les vagues et les marées tendent dans ces circonstances à niveler les inégalités du fond de la mer et à produire une surface plane légèrement inclinée. Les mêmes effets se produiraient sur des côtes non entamées encore à de grandes distances du bord originaire de la mer, et sur les points où les vallées se continuent sous la mer par le plongement abrupte des côtes; mais, dans ce dernier cas, ces effets ne seraient sensibles qu'après un laps de temps considérable; temps qui dépendrait en partie de la profondeur de l'eau, et en partie de la quantité de détritus charriée le long des côtes et répandue au fond de la mer par l'action des marées, des courants et des vagues.

On peut prendre l'île de Corse comme fournissant des exemples

[1] M. Élie de Beaumont a calculé l'angle d'inclinaison de ce talus *comparativement abrupte;* il a trouvé, d'après les données des cartes marines des côtes de la Grande-Bretagne, que le maximum de cet angle était de 2° 50'. Ce maximum ne se trouve que sur quelques points du contour des sondes de cent brasses; l'inclinaison moyenne du talus est de 34'. Voyez ce qui en a été dit dans la note à la suite de la figure 51 de l'*Art d'observer en géologie.* (*Note du traducteur.*)

de vallées sous-marines et de fonds plats voisins des côtes, qu'on peut y observer à la fois à de petites distances les uns des autres ; et cette localité est d'autant plus caractéristique, qu'il n'y a point là de marées pour niveler le fond de la mer. A la partie occidentale, la côte plonge brusquement dans la mer, et les vallées s'y continuent sous l'eau, présentant des criques nombreuses, là où le niveau de la mer rencontre le fond incliné des vallées. Les sondages paraissent indiquer que les détritus charriés par les eaux de ces vallées, ou provenant de l'action des vagues sur la côte elle-même, s'accumulent au débouché des vallées sous-marines, que cette action tend à combler. Si la Corse avait été entourée d'une mer dont les marées et les courants eussent balayé les côtes, le remblai des vallées sous-marines aurait été plus parfait, et le dépôt qui en résulte plus horizontal. A la côte orientale de l'île les talus sont moins inclinés et le fond de la mer y présente une surface plus unie, tandis que la ligne des côtes n'y est point dentelée aussi irrégulièrement qu'à la partie occidentale. En outre, l'action des vagues pousse les détritus vers cette côte et y forme des plages qui produisent des lacs intérieurs, tels que ceux de *Biguglia, Urbino*, etc. On ne découvre point de vallée sous-marine de ce côté. On comprend facilement que ces vallées sous-marines ne sont que la continuation de celles des terres émergées ; elles n'ont donc pas été produites par l'action érosive des eaux ; bien loin de là, toutes les fois que les eaux ont une action appréciable, on voit qu'elles tendent à niveler les inégalités sous-marines. Il est évident que les eaux, descendant avec rapidité le long des flancs escarpés de la côte occidentale, perdent leur vitesse et par conséquent leur force de transport en entrant dans la mer, en sorte que, bien loin de creuser les vallées sous-marines, leur action tend à les combler en y déposant les détritus qu'elles charrient de l'île.

Les vallées sous-marines qu'on observe le long des côtes d'une mer sans marées sensibles, telle que la Méditerranée, ne peuvent avoir été produites dans la mer même ; elles doivent avoir été formées par les mêmes causes qui ont formé leurs parties supérieures aujourd'hui à découvert. Si le tout avait été soulevé du fond de la mer, on ne voit pas comment les vallées se seraient originairement formées ; du moins il n'y a rien aujourd'hui dans la Méditerranée qui approche d'une force capable d'un tel creusement ; mais il se peut que les vallées aient été formées hors de l'eau et qu'une dépression du sol en ait porté la partie inférieure sous la mer. Les vallées sous-marines situées le long de côtes exposées à l'action des marées et des courants, loin d'être dans des

circonstances plus favorables à l'érosion que celles des mers qui n'ont point de marée sensible, tendront, au contraire, toutes choses égales d'ailleurs, à être plutôt comblées, de manière à présenter une surface unie, puisque la force de transport des marées et des courants est l'agent principal qui tend à niveler le fond des mers. On peut dire que toutes les vallées sous-marines qu'on observe le long des côtes montueuses et escarpées, ne sont que la continuation des vallées de la terre ferme; et que les unes et les autres doivent avoir été formées par une même cause générale autre que les marées et les courants qui existent aujourd'hui sur ces côtes. L'action de ces marées et courants ne creuse point le fond de la mer; au contraire, elle produit des surfaces presque horizontales, telles qu'on en voit de fort étendues le long de plusieurs côtes; surfaces qui, si elles venaient à être élevées au-dessus du niveau de la mer, offriraient un aspect assez uni pour recevoir le nom de plaines.

Si les marées et les courants marins actuels étaient doués d'une force de creusement et par conséquent d'une vitesse capable de produire des vallées telles que nous en voyons dans les pays montueux, on ne comprendrait pas comment les poissons pourraient vivre le long de nos côtes; l'eau y serait chargée de limon et elle entraînerait les poissons ou les obligerait à des efforts extraordinaires pour conserver leur position. Ils pourraient, à la vérité, profiter des remous, mais ils s'y trouveraient embourbés dans les détritus qui s'y déposent, de sorte que leurs habitudes, dans cette position, seraient fort différentes de ce qu'elles sont actuellement. Si la force des marées et des courants est aujourd'hui capable de creuser des vallées, on ne voit guère comment pourraient vivre les mollusques; car la vitesse nécessaire pour entamer des roches solides et dures, aurait bientôt entraîné la vase, les sables et les graviers qui servent de retraite à ces animaux; il ne pourrait en exister que dans des localités tout exceptionnelles. La formation de vallées semblables à celles qu'on observe dans les pays montueux, par l'action érosive des marées et des courants, est tellement opposée aux faits observés, et elle amènerait de telles conséquences, qu'il est difficile de comprendre comment une telle hypothèse ait jamais été mise en avant.

Puisque l'action actuelle des marées et des courants ne paraît point capable de creuser ces systèmes de vallées qu'on observe si communément sur nos continents, nous nous voyons forcé, pour expliquer les phénomènes observés, d'avoir recours soit à l'action érosive indéfiniment prolongée des torrents, des rivières et cours d'eau actuels, soit à des masses d'eau se précipitant avec violence et avec une vitesse considérable. Si l'on examine avec attention les



systèmes de vallées d'un pays montueux, qui comprenne, ainsi qu'il arrive fréquemment, des roches de nature diverse, on voit que les roches les plus dures ont été arrondies aussi bien que celles que l'on croirait plus faciles à désagréger. On est amené à penser qu'il y a eu là une certaine altération préalable des roches, qui les a toutes également rendues susceptibles d'être entraînées par l'érosion des eaux. Dans l'état actuel de nos connaissances, il ne paraît point que les roches situées sous la mer soient sujettes à une dégradation aussi générale que celles qui sont exposées aux actions variables atmosphériques. Sans doute que l'air atmosphérique renfermé dans l'eau pourrait fournir, du moins jusqu'à une certaine profondeur, l'oxigène nécessaire à la production d'oxides dont quelques-uns pourraient rendre une roche plus facilement attaquable par l'action de l'eau courante; mais nous croyons cependant que dans un temps donné la décomposition produite par les agents atmosphériques serait beaucoup plus considérable.

Il y a peu de roches exposées à ce qu'on a appelé les agents météoriques, c'est-à-dire à l'action générale des causes atmosphériques, qui n'aient été altérées jusqu'à une plus ou moins grande profondeur[1]. Cette altération est tellement marquée dans certains cas, qu'il y est difficile de se procurer des pierres de taille à employer dans les constructions, à moins que de pousser les travaux à de grandes profondeurs, la roche de la surface se délitant facilement à l'air, quoiqu'elle paraisse fort solide au sortir de la carrière. Lorsqu'on creuse dans les collines des entailles profondes pour l'établissement de nouvelles routes ou pour tout autre objet, on a d'excellentes occasions d'étudier la marche de cette altération, que l'on trouve souvent être fort irrégulière, comme dans la figure 36,

Fig. 36.



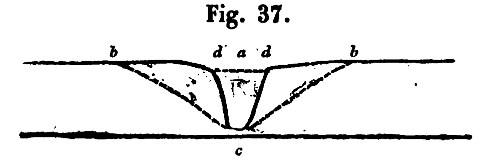
qui représente une coupe telle qu'on en rencontre fréquemment dans les travaux faits pour l'établissement de nouvelles routes dans les schistes argileux du Devonshire. La partie plus fortement ombrée, *a a*, forme le prolongement des feuillets des schistes représentés

[1] *Manuel géologique*, art. *Action de l'atmosphère sur les roches*.

dans la partie plus claire, *b b*, la ligne irrégulière qui sépare ces deux portions des couches étant bien marquée par l'oxidation plus prononcée du fer dans la partie supérieure, qui en a pris une teinte brunâtre ou brun rougeâtre, tandis que la partie inférieure a conservé sa couleur grise originaire.

Lorsqu'on suit avec attention la manière de laquelle les rivières ou torrents agissent à la surface d'un pays montueux, on voit, quoiqu'il y ait une grande quantité de matière d'entraînée, qu'il n'en résulte pas une surface arrondie; les petits cours d'eau latéraux, doués souvent d'une grande force d'érosion, entament cependant le sol plus ou moins profondément et donnent lieu ainsi, par l'action combinée de leur grand nombre, à une surface générale plus unie que si le terrain n'était soumis qu'à la seule érosion des torrents et des rivières. Tous les cours d'eau, quel que soit le nom qu'on leur donne, tendent à creuser dans le sens vertical, laissant de chaque côté des flancs escarpés. Supposons que *b b* (fig. 37) représente la surface d'une plaine; l'action d'une eau

Fig. 37.



courante, si elle pouvait creuser la roche sur laquelle elle coule, produirait un ravin resserré de chaque côté entre des escarpements plus ou moins verticaux. Comme il n'y aurait rien là de ressemblant à la surface ondulée d'un pays de collines, et que la rivière tendrait toujours, autant que le niveau du sol le permettrait, à creuser verticalement, il nous reste à voir jusqu'à quel point les actions atmosphériques pourraient modifier les effets du cours d'eau et les amener à l'état des choses actuel. Sans doute que les sommets des escarpements *d d* tendraient à s'écrouler et à tomber dans le ravin au-dessous (*a*), où la rivière enlèverait, autant que possible, les fragments ainsi écroulés. Suivant sa vitesse, la rivière pourrait ou non entraîner tous les fragments; mais dans tous les cas, on aurait après un laps de temps suffisant des talus sur les deux flancs du ravin.

Nous supposerons ici l'état de choses le plus favorable, c'est-à-dire que la rivière puisse enlever tous les fragments tombés par éboulement, et qu'en conséquence, toute sa force étant employée à déplacer les blocs qui s'opposeraient à son passage, elle cesse d'en-

tamer ses flancs d'une manière sensible. L'action combinée de la pesanteur et des influences atmosphériques pourra alors arriver à produire des talus *cb*, *cb* (fig. 37). En supposant que la pente ainsi obtenue soit assez unie pour ne point présenter d'aspérité sensible lorsqu'elle viendra à être couverte de végétation, il nous reste à découvrir comment cette formation de talus pourra amener quelque chose de ressemblant aux flancs des collines des régions dont nous nous occupons. Lorsque l'angle d'inclinaison des talus sera arrivé à 45°, les fragments, s'appuyant les uns sur les autres, tendront à rester sur la pente où ils se formeront, en sorte que les dégradations ultérieures seront dues principalement à la désagrégation de leur surface, et à l'action de l'eau courante qui entraînera les parties désagrégées, et dont le frottement ne laissera pas que de dégrader le sol à l'aide des détritus qu'elle charriera. On aura alors des sillons et d'autres aspérités dues à l'action des petits ruisseaux latéraux, et si les talus de la vallée étaient couverts de végétation, ainsi qu'on doit les supposer par analogie avec ce qui se passe de nos jours, la surface de ces talus ne serait point une pente unie; s'il n'y avait pas de végétation, il se pourrait que les petits filets d'eau, se déplaçant et se croisant les uns les autres, finissent par amener une surface assez sensiblement uniforme.

Une fois arrivés à ce point, il devient fort difficile de voir comment les talus des collines pourraient, par une répétition des mêmes causes, prendre les contours qu'ils présentent aujourd'hui dans les pays montueux. Il y a en général de chaque côté de la vallée un dépôt détritique qui couvre au pied des collines les roches solides et qui acquiert une plus grande épaisseur au centre de la dépression; mais ce détritus superficiel, bien loin d'être augmenté par l'action actuelle des causes atmosphériques qui devraient, dans notre hypothèse, n'être qu'une répétition de l'action à laquelle sont dues les vallées mêmes, est entamé lui-même par les cours d'eau latéraux, qui s'y creusent des gorges à flancs escarpés, et par le sillon dans lequel coule la rivière principale. On arrive ainsi à conclure que, quoique les vallées puissent être formées par l'action très-longtemps continuée des cours d'eau coulant dans des lignes de fentes ou de dépressions de la surface du sol, cette action n'arriverait pas à produire les talus à pente comparativement douce, qui sont si fréquents dans les contrées montueuses.

Il ne nous faut point négliger ici le fait sur lequel on a souvent insisté, que les sinuosités des rivières et leurs fréquents changements de lit doivent tendre à niveler le fond des vallées. Sans doute que, toutes choses égales d'ailleurs, plus le fond d'une vallée est

plat, plus les sinuosités des rivières sont irrégulières. On pourrait en conclure que plus une rivière creuse le fond d'une vallée, moins elle doit suivre les sinuosités suivant lesquelles elle serpentait d'abord, de sorte qu'il n'y aurait aucune nécessité de supposer que les rivières, lorsqu'elles commencèrent à entamer les vallées, fussent plus considérables qu'elles ne le sont actuellement, ni que leur importance ait diminué progressivement jusqu'à être réduite aux cours d'eau actuels. Cette dernière hypothèse exigerait non-seulement de grandes masses d'eau se précipitant avec une force capable de creuser les vallées, mais encore une telle quantité de pluie pour alimenter ces rivières, que celle qui tombe de nos jours sous les tropiques ne serait qu'une bagatelle comparée à ces pluies anciennes. Les sinuosités des rivières peuvent avoir influé sur le creusement des vallées, quoique à un degré moindre que celui que nous venons de supposer; et il peut en être résulté des effets qui aideraient à expliquer quelques-uns des phénomènes des grandes vallées peu profondes.

Nous avons supposé jusqu'ici que les rivières avaient une masse d'eau suffisante et une vitesse assez considérable pour pouvoir entamer profondément le sol et produire des escarpements dont les éboulements donneraient lieu aux talus actuels. Il suffit de parcourir une petite étendue d'un pays montueux pour être convaincu que les cours d'eau actuels, dans les plus grandes crues possibles, ne parviendraient jamais à rien produire de semblable. Dans plusieurs des vallées les cours d'eau ne sont que de petits ruisseaux qui ne peuvent prendre aucune importance, même après les grandes pluies. Dans d'autres cas il n'y a aucun cours d'eau, ainsi que cela se voit dans plusieurs des vallées de l'Angleterre, l'eau qui tombe de l'atmosphère étant absorbée facilement par les roches à la surface du sol, soit que l'absorption en soit due à la porosité des roches, ou bien à la position presque verticale des couches ou feuillets dont les séparations serviraient de canaux d'écoulement.

Lorsqu'on jette les yeux depuis une hauteur isolée sur une étendue un peu considérable d'un pays montueux, ou lorsqu'on examine un relief ou une carte topographique exacte d'un tel pays, on est porté à croire que les inégalités du sol qu'on a devant soi sont l'effet de plusieurs causes réunies et non d'une seule. Les filets d'eau s'unissent d'abord en différents petits systèmes de ruisseaux, qui arrivent ensuite, par des canaux nombreux, aux rivières principales. Çà et là de petites plaines prouvent que les eaux ont été arrêtées par des digues situées en avant de ces plaines, et que les lacs ainsi produits ont ralenti la vitesse des eaux, en sorte que

les détritus qu'elles charriaient se sont déposés et que le bassin en a été comblé.[1]

Maintenant, si l'on réfléchit que, d'après toute probabilité, le pays que l'on examine est traversé par des fentes suivant des directions diverses, dont quelques-unes sont parfois plus prononcées, on est amené à se demander si, dans le cas où une telle dislocation des roches aurait eu lieu sous la mer, il ne s'en serait pas suivi un mouvement extraordinaire de ses eaux. Dans les grands tremblements de terre de l'époque actuelle, la mer se déverse souvent sur les côtes en fortes vagues qui balayent tout devant elles. On est donc en droit de conclure que la manifestation de forces intérieures plus intenses donnerait lieu à des irruptions plus violentes de la mer, tandis que le mouvement des eaux au-dessus des couches fracturées, tendrait à en enlever les fragments. Les vagues exerceraient sans doute une action puissante là où elles se briseraient, et elles pourraient entraîner les crêtes fracturées des couches disloquées; mais on arriverait difficilement à obtenir, de cette manière ou par l'action des eaux violemment agitées au-dessus des lignes de dislocation, quelque chose de semblable aux vallées des pays montueux. Que si l'on a recours à de grandes masses d'eau se déversant avec une grande vitesse sur des couches fracturées et redressées en différents sens, on paraît avoir là une force capable de produire les formes arrondies si remarquables des pays montueux. Plus la débâcle serait instantanée et les eaux volumineuses, plus l'action érosive en serait énergique sur les points saillants de la surface.

Si nous supposons qu'une telle masse d'eau traverse un pays déjà sillonné par des vallées antérieures, dont la surface aurait été longtemps exposée aux actions atmosphériques, nous aurons des résultats plus analogues aux faits observés, que ceux qu'une même masse d'eau produirait sur une surface non entamée encore. On a remarqué plus haut que les ondulations qui découpent un pays en collines et en vallées, se rencontrent tout aussi bien dans un sol composé de couches résistantes que dans un terrain composé de roches moins solides. Or, il paraît difficile que des vallées semblables soient produites dans des roches qui offrent à l'eau courante des degrés de résistance si différents, soit par des rivières agissant sur une

[1] Dans une telle contrée l'écoulement des eaux se fait en général sans interruption; les lacs ne se trouvant guère que dans l'intérieur ou à la limite des chaînes de montagnes, ou bien dans des plaines très-étendues; en sorte que la grande longueur du temps, depuis lequel les eaux suivent le régime actuel, est au moins une des causes qui ont produit les effets observés dans de telles contrées.

ligne de fracture, soit par des eaux se précipitant en masses sur des couches disloquées, soit encore par ces deux causes réunies, quoique dans ce dernier cas on puisse avoir des effets très-importants. Que si l'on ajoute à cette action de l'eau l'altération et la désagrégation des roches par les agents météoriques, toutes les difficultés peuvent, jusqu'à un certain point, disparaître; car plusieurs roches, telles que quelques granites et certaines roches trappéennes et calcaires, qui résisteraient indéfiniment à l'action érosive de l'eau, lorsque leur surface n'a point été désagrégée ou décomposée, seraient facilement entamées après avoir été réduites en fragments ou en une substance presque pâteuse, ainsi qu'il arrive fréquemment par l'action de l'atmosphère sur ces roches. Ce seraient là souvent les roches les plus facilement entamées par la décharge subite d'une grande masse d'eau.

Les couches d'un pays de collines sont souvent tout aussi brisées, contournées et redressées, que celles des grandes chaînes de montagnes, quoique sur une moins grande échelle. Cependant le contour anguleux d'un système de montagnes est si différent de la surface ondulée d'un pays de collines, que l'on est porté à supposer qu'il y a eu, dans l'un des cas, quelque action qui ne s'est point manifestée dans l'autre, ou dont l'énergie n'a pas été assez grande pour arrondir les aspérités de la surface du sol. On a prétendu quelquefois que, supposer que les eaux puissent s'être précipitées sur les continents en grandes masses, c'est recourir à des forces surnaturelles, à des catastrophes terribles, difficiles à concevoir. Mais si l'on considère un peu plus en grand les causes qui peuvent donner lieu à de grandes débâcles ou déluges, on trouvera que de tels effets ne sont point si difficiles à concevoir.

Les tremblements de terre, qui, d'après l'étendue des surfaces sur lesquelles ils se font ressentir à la fois, paraissent n'être qu'une modification ou une manifestation moins intense de la force qui a brisé l'écorce terrestre en fragments de toutes dimensions, produisent, par la vibration qu'ils communiquent aux eaux de l'océan, des vagues plus ou moins élevées qui se précipitent sur les côtes. La vibration de la mer fut telle, lors du grand tremblement de terre de Lisbonne, que les vagues s'élevèrent sur la côte de Cadix à soixante pieds de hauteur, et à dix-huit pieds dans l'île de Madère. L'action de ce tremblement de terre s'étendit sur une grande partie de l'hémisphère septentrional, et pourtant il n'en résulta aucune dislocation appréciable, rien du moins qui approchât d'un soulèvement de couches suivant une ligne déterminée. Nous pouvons, d'après cela, nous faire quelque idée des effets qui se produiraient

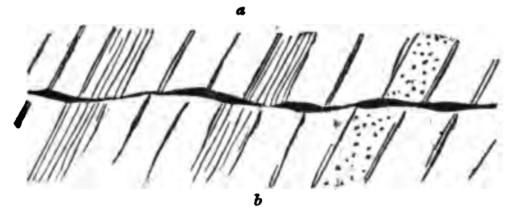
si une chaîne de montagnes de cent milles de long et de deux ou trois mille pieds de haut, vînt tout à coup à se soulever du fond des mers. Les vibrations du fluide seraient en proportion de l'action du soulèvement, et des vagues, relativement énormes, se précipiteraient sur les bancs de sable et les côtes peu élevées. Si les personnes qui considèrent un tel soulèvement de montagnes comme exigeant un déploiement de force difficile à concevoir, veulent prendre à la main un globe d'un pied de diamètre et y rapporter les dimensions proportionnées de la fissure et du soulèvement nécessaires pour produire non-seulement la chaîne de montagnes de cent milles dont nous venons de parler, mais des aspérités beaucoup plus considérables encore, elles cesseront probablement de regarder comme prodigieux de tels phénomènes. Soit que l'on suppose les chaînes de montagnes produites par la pression des côtés d'une fissure l'un contre l'autre, ou par l'intercalation entre les couches d'une masse ignée, un soulèvement de trois mille pieds de haut sur une longueur de cent milles, serait tout à fait inappréciable si on le rapportait à la surface et au volume du globe terrestre.

CHAPITRE X.

Les failles (c'est le nom qu'on donne communément aux dislocations des couches) n'étant que des fentes dont les côtés ont été plus ou moins déplacés, elles doivent nécessairement présenter des apparences très-variables. Les côtés d'une faille sont quelquefois tellement serrés, qu'il est difficile d'introduire dans la fissure le moindre instrument, tandis que dans d'autres cas la fente est très-vaste et remplie de débris provenant en général des roches qui en forment les parois; en sorte que, lorsqu'une faille traverse des couches de diverse nature, les débris amassés dans la fente seront de diverse nature aussi. On ne peut guère concevoir que la rupture d'une couche ait lieu suivant des surfaces parfaitement unies : on doit au contraire s'attendre à en trouver les parois fort inégales; et par suite, lorsque les côtés d'une faille sont sensiblement lisses, on devra en conclure que cette apparence est due au frottement des deux côtés l'un contre l'autre. Or, lorsqu'on examine attentivement la surface des parois des failles, on découvre en général un polissage et des stries qui indiquent à la fois une pression et un mouvement, tels absolument qu'on pourrait s'attendre à les trouver si les parois avaient été contraintes de glisser l'une contre l'autre avec grande force. Les surfaces polies sont fréquentes dans les filons métallifères. Il en résulte souvent un enduit métallique qui recouvre les parois du filon; mais il ne paraît pourtant point y avoir de différences essentielles entre les surfaces polies d'une masse métallique et les surfaces polies des failles. Les stries de glissement sont communes dans les deux cas, et il arrive souvent soit dans les filons métallifères, soit dans les failles ordinaires, qu'on trouve des fragments de roche compris entre les parois du filon ou de la faille, qui paraissent avoir été écrasés et polis eux-mêmes dans cette position.

Il doit nécessairement arriver, d'après les aspérités des parois des failles, que le mouvement de ces parois mettra en contact certains points de leur surface, laissant ailleurs des espaces vides. Supposons que la figure 38 représente la coupe horizontale d'une faille :

Fig. 38.



si le côté *a* est porté légèrement vers la droite, le côté *b* restant en place, on aura des points des parois qui seront en contact, tandis que d'autres seront écartés. Or, de telles apparences sont fréquentes dans la nature, et il existe une analogie très-remarquable entre ces failles et les filons métallifères. Le lecteur se fera aisément une idée de l'épaississement et de l'amincissement des filons en prenant une feuille de papier, la coupant en deux par une ligne ondulée; plaçant ensuite les deux parties sur une feuille de papier doré, et les faisant glisser de manière à ce que les bords de la coupure ne se correspondent plus, il verra alors dans les intervalles le papier doré représentant un filon métallifère d'une épaisseur variable d'un point à l'autre. C'est le procédé qu'on a employé dans le dessin de la figure 38, en coupant et faisant glisser du papier blanc sur une surface noire[1]. Il est évident qu'un très-faible mouvement latéral ou vertical, ou bien encore dans les deux sens à la fois, produira des apparences analogues à celles ci-dessus, apparences qui sont très-fréquentes dans les filons métallifères et dans ces failles que les travaux de l'homme mettent à découvert et rendent plus faciles à comprendre que ne peuvent le faire les coupes naturelles sur des points comparativement éloignés l'un de l'autre.

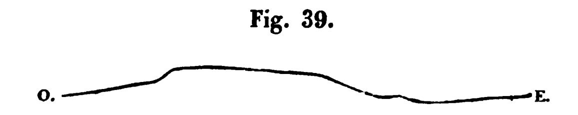
En essayant de rendre compte ainsi des inégalités que présentent les parois des failles, nous ne supposons cependant point que si on replaçait ces parois dans la position relative qu'ils occupaient avant la fracture, les aspérités en coïncideraient encore parfaitement d'un

[1] Il y a un moyen plus évident encore de montrer la manière dont peuvent se remplir les interstices d'une faille à parois irrégulières; c'est de briser une masse de plâtre, de faire glisser l'une contre l'autre les parois de cette fracture, et de verser du plomb fondu dans les interstices, en bouchant soigneusement les côtés de la fente, de manière à empêcher le métal de s'échapper. En coupant le plomb refroidi, suivant diverses directions, on a des coupes qui rappellent d'une manière frappante les inégalités qu'on observe dans les filons métallifères.

côté à l'autre de la faille. Plus le frottement produit par la pression latérale, et le mouvement horizontal ou vertical, seraient grands, plus les inégalités des parois seraient détruites; en sorte que nous devons nous attendre à trouver plus d'aspérités dans les parois des failles et dans les fragments qu'elles peuvent renfermer, lorsque le mouvement de dislocation qui les a produites a été peu énergique.

On décrit généralement les failles comme suivant des lignes droites, ou à peu près droites, et certes quelques-unes suivent une direction rectiligne sur des distances considérables en prenant pour unité des mètres ou des brasses; mais le plus souvent elles courent suivant des lignes anguleuses ou ondulées, absolument comme on peut s'attendre à trouver des lignes de fracture. Quoique plusieurs des failles suivent des directions générales constantes, parallèles souvent les unes aux autres ou à peu près, lorsqu'on les considère sur de grandes étendues, les détails de leur allure n'en sont pas moins irréguliers. A l'appui de ce que nous venons de dire, nous rapporterons, figure 39, une faille située au nord de Weymouth, qui a été suivie avec beaucoup de soin et tracée sur la carte du district par le professeur Buckland et l'auteur de cet ouvrage.[1]

Fig. 39.



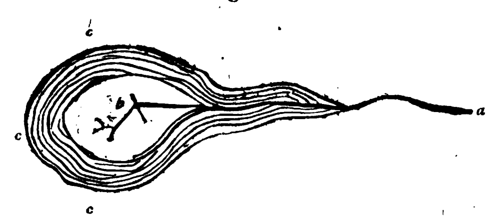
On remarquera que, quoique cette faille puisse être regardée comme ayant une direction générale de l'Est à l'Ouest, les détails en suivent des directions variées. Il est naturel de penser que des faits analogues doivent se retrouver dans les chaînes de montagnes, avec cette différence seulement que dans les lignes de grandes dislocations, la longueur des fractures de détail peut souvent être fort considérable, quoique toujours fort petite relativement à la longueur de la chaîne entière. Il s'ensuit qu'au lieu de regarder les irrégularités de détail dans la direction des couches d'une chaîne de montagnes, comme une preuve qu'il n'existe point une direction constante dans les soulèvements d'une même époque, on devrait prendre la direction générale de l'ensemble de la chaîne, absolument comme on fait pour la direction des failles; tenant compte exactement, et sans aucune détermination de trouver les choses telles qu'on croit qu'elles doivent être d'après des idées préconçues, des dislocations qui peuvent s'être produites à chaque époque,

[1] Voyez *Geological Transactions*, 2nd *series*, vol. 4.

lorsque l'on a des preuves qu'il y a eu plus d'un soulèvement, ce qui est souvent le cas dans les grandes chaînes de montagnes.

Les failles se divisent souvent en rayonnant suivant deux et même suivant un plus grand nombre de directions, précisément comme pourrait le faire une fracture du sol; et l'on trouve que cela a lieu surtout vers la fin des lignes de dislocation. Les côtés d'une faille offrent souvent des traces de plissement, ce qui prouverait que les roches étaient jusqu'à un certain point à un état pâteux, et qu'elles ont subi une pression. Comme ces contournements ne suivent point toujours des lignes parallèles aux accidents de dislocation, quoique, d'après la manière dont la pression était appliquée, l'inflexion des couches ait dû le plus souvent se faire suivant de telles lignes, il arrive que les courbures sont quelquefois coupées par le niveau horizontal de manière à présenter des lignes courbes, qui peuvent servir à l'explication de ces grandes courbures et dispositions circulaires de couches que l'on a représentées comme des cirques ou des vallées d'élévation circulaires. Ces cirques ou amphithéâtres, dans lesquels des couches déterminées forment une élévation circulaire autour d'une dépression, au centre de laquelle se voit quelquefois une protubérance ou élévation centrale, se voient souvent sur une petite échelle, à la fin d'une petite faille dans des couches presque horizontales, d'une résistance diverse, telles que celles du lias, lorsque cet accident du sol a été mis à nu par les marées ou par d'autres causes.

Fig. 40.



La figure 40 peut donner une idée d'une de ces petites failles *a*, qui se termine à une protubérance *b*, due à une courbure des couches autour de la fin de la fente ou dislocation. Cette courbure, venant à être dénudée suivant un plan horizontal, offre la ligne circulaire *c c c*, de la même manière qu'un échantillon de malachite, de stalactite ou autre substance mamelonnée, présente, étant coupé suivant certains plans, une série de cercles concentriques. Que s'il existe entre le cercle extérieur *c c c* et la protubérance centrale *b*

quelque couche moins solide de marne ou de schiste marneux, comprise entre deux couches de calcaire du lias, et qu'un cours d'eau vienne à attaquer cet ensemble de couches, on aura en dernier résultat une élévation centrale et une sorte de vallée circulaire, entourée à sa partie extérieure par un escarpement de roches plus solides. Les personnes qui ont eu lieu d'observer les cirques ou vallées circulaires d'élévation qui se présentent dans la nature sur de grandes échelles, comprendront facilement que leurs miniatures, qui se voient à la fin d'une petite faille, sont fondées sur un principe qui est absolument le même. L'issue du cirque est en général une gorge ou ravin, situé au point où la courbure des couches se change en une fente. Un profil de cette disposition circulaire des couches présente les mêmes traits généraux, soit que le phénomène ait lieu sur une grande ou sur une petite échelle.[1] Lorsqu'on réfléchit combien la forme d'un contournement quelconque de couches est une chose accidentelle, on ne peut être surpris de l'aspect varié que présentent les vallées ou amphithéâtres de soulèvement, qui ne sont que des courbures ou fractures des couches coupées par le plan horizontal général de la surface du sol, et exposées aux causes de dégradation qui ont pu agir sur cette partie de la surface terrestre depuis que la force de soulèvement a produit la fracture ou courbure originaire des couches.

Le lecteur doit sentir aisément qu'il ne manque à ces amphithéâtres ou vallées circulaires d'élévation qu'une éruption volcanique se faisant jour vers leur centre, pour passer à ces cratères de soulèvement qui ont été l'objet de tant de discussions. Si des roches volcaniques, telles que de grandes nappes horizontales de basaltes, trachytes, conglomérats volcaniques et autres roches analogues, viennent à être soulevées en voûte circulaire, on aura un cratère de soulèvement. Il ne manquera qu'un orifice volcanique au centre du cirque pour avoir toutes les données exigées dans la théorie des cratères de soulèvement de M. de Buch. Il paraît fort difficile de concevoir le soulèvement d'un ensemble de couches horizontales, surtout si l'action intérieure se déploie plus énergiquement sur un point que sur les autres, sans qu'il y ait des points qui soient soulevés plus haut que les autres d'une manière symétrique, ou autrement dit, sans qu'il en résulte une cavité cratériforme dont les points plus élevés seraient le bord; et dès lors on a de la peine à

[1] L'étude des petites dislocations que présentent les couches mises à découvert par les basses marées suivant un plan horizontal, peut servir à l'explication des grandes dislocations de l'écorce terrestre, surtout lorsqu'elles sont composées d'assises d'une solidité inégale, comme dans le lias.

comprendre qu'on ait révoqué en doute l'existence des cratères de soulèvement. Lorsqu'on trouve des grès siliceux courbés et contournés dans tous les sens, comme on en voit souvent dans la nature, on en conclut que les molécules qui composent ces couches ont pu se mouvoir, les unes relativement aux autres, de manière à les rendre souples et comparativement faciles à ployer. Sans cet état de mollesse, il n'y aurait pas eu de contournement possible pour ces couches. On n'est donc point surpris de trouver dans la nature ces grandes courbures des couches de grès, schistes, calcaires et autres roches stratifiées, qui, lorsqu'elles viennent à être dénudées suivant un plan horizontal, présentent de grandes lignes courbes ou circulaires. On ne voit pas trop pourquoi l'on trouve extraordinaire que le même phénomène se produise dans de grandes assises de basalte, de trachyte, ou autres roches analogues, dont la composition se prête bien mieux que celle des grès à la possibilité d'un état pâteux.

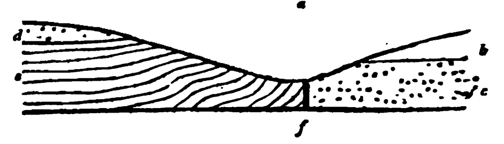
Si une force de soulèvement agit au-dessous d'une masse de couches de sédiment, ou d'une nappe basaltique ou trachytique, et qu'une partie de ces assises se trouve moins résistante que les autres, ou bien que l'effort intérieur soit plus énergique sur un point que sur un autre, il en résultera une sorte de fracture circulaire; et bien loin qu'il y ait là quelque chose d'extraordinaire, on ne voit pas trop comment il en pourrait être autrement. Parmi les contournements et les fractures des chaînes de montagnes, il n'est pas rare de trouver des couches tellement disposées que, si des matières volcaniques venaient à se faire jour vers le centre de dislocation, on n'aurait point de difficulté à dire qu'il y a là un cratère de soulèvement. Le plus bel exemple de couches ainsi disposées, qu'on ait cité jusqu'ici dans les îles Britanniques, est celui que M. Murchison a découvert, il n'y a pas longtemps, dans des couches appartenant au groupe de la grauwacke à *Woolhope* dans l'*Herefordshire*.[1]

Il arrive quelquefois que le bord d'une faille qui a été redressé par une pression latérale se présente avec des circonstances qui paraissent peu faciles à concevoir. Nous choisissons dans la figure 41 un exemple tiré de la figure 34, c'est-à-dire une coupe plus détaillée de la faille de la vallée de *Wambrook*, quoique dans ce cas il faille quelque attention pour se rendre compte des faits observés.

[1] Un dessin de cette vallée ou cirque de soulèvement paraîtra probablement dans l'ouvrage de cet auteur sur l'étage supérieur de la grauwacke du pays de Galles et contrées voisines, et sur la structure géologique d'autres districts limitrophes.

On pourrait trouver de meilleurs exemples parmi les failles qui se voient le long des côtes, parce que là les faits se voient au premier coup d'œil, comme dans un dessin fait exprès.

Fig. 41.



La faille *f*, au fond de la vallée de *Wambrook* *a*, a soulevé le lias *e*, situé à l'Ouest, jusqu'au niveau du grès vert *c*, à l'Est de la faille, qui est recouvert par la craie *b*, et qui autrefois a fait le prolongement du grès vert *d*, situé à l'Ouest. Or, si dans un mouvement de dislocation la partie orientale de la faille avait été abaissée, ou bien la partie occidentale soulevée, la tête des couches du lias devrait, d'après le frottement qui a eu lieu lors du mouvement vertical, être dirigée vers l'intérieur au lieu d'être relevée vers le ciel, ainsi qu'on le voit aujourd'hui. Il faut donc admettre qu'il y a eu là une forte pression latérale, qui a redressé la tête des couches du lias, ou bien que lors de la dislocation le côté occidental a été soulevé si fortement qu'il a dû retomber ensuite contre le côté oriental de la faille. Dans le cas de la vallée de *Wambrook* on ne peut pas bien juger si le grès vert porte ou non les marques d'une forte pression latérale, car on n'y a ouvert aucune carrière, mais on ne voit à la surface du sol aucun indice de contournement de couches. On ne peut donc point conclure ici (comme dans d'autres localités, où, des couches également résistantes se trouvant des deux côtés d'une faille, celles d'un côté sont redressées comme dans la figure 41) que lors du mouvement de dislocation un des côtés de la faille a été porté à un niveau supérieur à celui qu'il occupe aujourd'hui, et que par un abaissement graduel postérieur, ou bien par une descente brusque, au moment de la dislocation, le frottement des deux côtés fut tel qu'il en résulta un redressement des couches inférieures.

Les substances contenues dans les failles peuvent amener à l'explication de la formation de ce qu'on appelle des *filons métallifères*, uniquement parce qu'ils contiennent des métaux recherchés et exploités pour leur utilité. Plusieurs filons, qu'on n'appelle point communément métallifères, contiennent en grande quantité des pyrites de fer, qu'on trouve aussi dans les failles ordinaires, surtout lors-

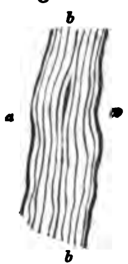
qu'elles traversent des argiles, des marnes ou des schistes. Nous avons remarqué plus haut que les parois des failles sont souvent absolument en contact, tandis que quelquefois elles sont comme bâillantes, et le vide a été rempli alors de diverses manières. On y trouve communément des fragments anguleux de diverses grosseurs, dont quelques-uns sans doute sont contemporains de la dislocation; mais il est évident aussi qu'il est resté alors des espaces vides tant entre les fragments qu'entre les parois elles-mêmes, espaces qui n'ont été remplis que graduellement, et surtout par des matières en solution, qui dans certains cas n'ont pas comblé entièrement l'espace vide, mais ont laissé libre un espace intérieur, qu'on a appelé *druse*, et qui est entouré de cristaux de plusieurs espèces. L'infiltration de ces solutions a souvent eu lieu de la même manière absolument que celle qui a produit les agates dans les cavités de certaines roches.

On observe en général que les cavités dont il s'agit sont revêtues, sinon entièrement remplies, des substances qui dominent dans les roches qui forment les parois des failles. Si les parois sont calcaires, c'est en général du spath calcaire qui remplit les fentes; dans la grauwacke siliceuse et dans les roches analogues, c'est le quarz; dans les couches argilo-calcaires, abondantes en pyrites, telles que le lias, les fentes contiennent fréquemment du spath calcaire, des pyrites de fer et quelquefois des cristaux de sélénite; dans les filons qui coupent les couches supérieures des marnes irisées, ou les autres couches abondant en sulfate de chaux, on trouve souvent du gypse. [1] Il y a évidemment une relation entre les substances contenues dans les vides d'une faille et les roches que traverse cette faille; et c'est là ce qui doit arriver, puisque l'eau qui s'infiltre à travers ces roches, et vient s'écouler à la surface des parois des failles, doit y déposer les substances qu'elle tenait en solution.

Dans certains cas la fente est évidemment restée bâillante pendant une longue période de temps, et elle a été remplie successivement en allant des parois vers le centre. Les exemples les plus frappants de ce phénomène se voient dans les calcaires ayant une certaine puissance, tels que les calcaires carbonifères de l'Angleterre et du pays de Galles. La figure 42 représente une portion d'une fente de ce genre dans laquelle les lignes ondulées et jusqu'à un certain point parallèles *bb*, sont moulées pour ainsi dire sur

[1] Les veines diagonales de silex qui traversent la craie (voyez *b*, fig. 15, p. 69), et qui ont toute l'apparence de petites fentes remplies par des infiltrations de silice, paraissent être de même un exemple analogue aux précédents d'un remplissage des filons par des substances contenues dans la roche qu'ils traversent.

Fig. 42.



les parois *aa* de la faille. Lorsqu'il à fallu un temps considérable pour la production d'une de ces couches calcaires, la partie extérieure en est couverte de sommets de cristaux sur lesquels s'est formée la couche suivante. Il y a souvent des cavités ou druses dans le centre de ces failles. On peut observer des circonstances absolument analogues dans plusieurs roches schisteuses, avec la différence que c'est le quarz qui enduit les parois des failles, au lieu du calcaire. Telles sont plusieurs des failles qu'on nomme filons croiseurs (*cross courses*) dans le Devonshire et le Cornouailles.

Il y a une analogie si frappante entre les substances contenues dans les cavités des failles et celles que renferment la plus grande partie des filons métallifères, que l'on est irrésistiblement amené à assigner aux deux phénomènes une cause semblable. Ce n'est que la présence des substances métalliques qui devient plus difficile à expliquer. Les sulfures métalliques ne se rencontrent point uniquement dans les filons métallifères proprement dits; car on trouve souvent le sulfure de fer dans les failles ordinaires, où il a été évidemment introduit après la fracture des roches, et où il a quelquefois cristallisé dans des druses. La différence principale à faire entre les failles et les filons, c'est qu'on trouve dans ceux-ci certains métaux qui ne se rencontrent pas dans les autres. Or, dans ce cas, il faut rechercher quelles peuvent être les causes de cette différence, plutôt que de conclure *à priori* qu'il ne peut y avoir d'analogie entre les failles et les filons métallifères. On pourrait tout aussi bien dire qu'il n'y a point d'analogie entre deux failles, parce que les cavités de l'une sont remplies de quarz et celles de l'autre de carbonate de chaux.

On a observé depuis longtemps, et M. Carne a rappelé plus particulièrement, il y a quelques années à l'attention des géologues, un fait qui peut amener à l'explication de la formation des filons; c'est que la nature des filons métallifères change en même temps que les roches qu'ils traversent. Il n'y a point de mineur doué de

quelque intelligence qui n'ait eu occasion de reconnaître ce fait; aussi on entend souvent les ouvriers annoncer à l'avance le bon ou mauvais succès des travaux, d'après la roche que l'on rencontre en suivant un filon. Ces prédictions ne se vérifient pas toujours, il est vrai; mais la constance que les mineurs mettent à les répéter, prouve au moins que c'est là un fait généralement reconnu. Il n'est point nécessaire, pour produire un changement dans la richesse du filon, qu'il y ait une différence géologique absolue dans les roches qu'il traverse, qu'il passe par exemple des schistes au granite; il suffit souvent d'un changement dans la texture, dans la dureté, ou dans d'autres caractères minéralogiques de roches appartenant à un même groupe, pour produire des altérations assez remarquables dans la nature du filon qui les traverse.

Cette différence dans les substances que renferme un filon, ou plutôt dans quelques-unes de ces substances, dépend donc évidemment des roches qu'il traverse; et si nous prenons l'ensemble des faits que nous avons cités plus haut, il nous sera prouvé que la nature des substances contenues soit dans les filons métallifères, soit dans les failles ordinaires, tient aux roches qui les encaissent. Parmi les circonstances qui paraissent promettre une plus grande richesse des filons, surtout en métaux utiles, il faut compter en premier lieu la proximité de masses de granite, porphyre, grünstein et roches du même ordre, à des roches stratifiées, telles que des schistes ou autres[1]. Tous les mineurs du Cornouailles connaissent l'importance du voisinage du granite, lorsque leurs travaux sont ouverts dans le *killas* (nom que l'on donne communément aux schistes dans cette partie de l'Angleterre). Les exploitations les plus riches du Cornouailles et du Devonshire sont situées à une petite distance de chaque côté de la ligne de contact de ces deux roches[2]. Il y a donc là des circonstances favorables à la présence de certains métaux particuliers. On pourrait citer un grand nombre de faits analogues, mais ce serait sortir du plan que nous nous sommes proposé de suivre dans cet ouvrage. Dans plusieurs cas on observe des phénomènes qui portent à admettre qu'une chaleur longtemps continuée a joué un rôle important dans la production des filons;

[1] M. Necker de Saussure a réuni une masse de preuves à l'appui de ce que nous annonçons, dans un mémoire qu'il a lu à la Société géologique de Londres. Voyez les *Proceedings of the Geological Society of London.*

[2] On peut citer ici comme un fait remarquable, que dans toutes les localités du Devonshire et du Cornouailles oriental, où l'on exploite des amas de manganèse, ces amas se trouvent dans la grauwacke, à proximité des grünsteins ou de quelque roche trappéenne; il n'y a qu'un petit nombre d'exceptions à cette règle, et quelques-unes de ces exceptions sont même fort douteuses.

et plusieurs des fissures ont pu résulter des circonstances réciproques dans lesquelles se seraient trouvées une masse ignée d'épanchement et les roches à travers lesquelles cette masse se serait fait jour.

Des changements chimiques ont eu lieu dans les substances minérales contenues dans quelques-uns des filons métallifères, après qu'ils avaient été remplis, en partie du moins, par ces substances; on en a une preuve dans la présence dans les filons de cristaux pseudomorphiques, c'est-à-dire de cristaux qui se sont moulés dans des cavités qui avaient été occupées d'abord par des cristaux d'autres minéraux qui ont disparu en laissant leur moule vide; d'autres fois ces cavités sont restées vides après la disparition de la substance qui les avait remplies d'abord. Dans le premier cas il y a eu quatre opérations successives: 1.° la production des cristaux originaires; 2.° leur moulage par une substance différente, comme lorsque des cristaux cubiques de chaux fluatée se trouvent enveloppés par du quarz; 3.° la disparition, par dissolution ou autrement, de la matière des cristaux originaires; et 4.° la substitution dans le moule resté vide, d'une troisième substance minérale, qui y prend une autre forme cristalline que celle de l'espèce à laquelle elle appartient. Dans le second cas il n'y a eu que les trois premières de ces opérations.

Ces changements offrent un grand intérêt, en ce qu'ils montrent que les substances contenues dans un filon n'y sont point, après leur première production, dans un état permanent de stabilité; ils nous font comprendre la possibilité d'autres changements tout aussi importants, dont nous n'aurions jusqu'ici aucune connaissance. Le moulage d'une substance minérale sur des cristaux préexistants d'une autre substance, paraît démontrer aussi que le remplissage des filons ne s'est point fait d'un seul coup, mais dans une période de temps indéterminée. Dans les filons métallifères, les minerais métalliques occupent rarement toute la largeur du filon; ils sont mélangés en général de plusieurs manières avec du quarz et d'autres substances, et très-souvent avec des fragments de roches de même nature que celles qui forment les parois du filon.

Notre intention n'est point d'entrer dans plus de détails sur l'histoire générale des filons métallifères, ce qui nous entraînerait au delà des bornes que nous nous sommes proposées; nous tenons seulement à montrer combien quelques-uns de ces filons ont de l'analogie avec les failles ordinaires, et que les différences qui s'observent entre les substances qui remplissent les diverses fentes n'ont résulté que de la différence entre les circonstances dans lesquelles ces substances ont été produites. Il est des roches dans lesquelles les minerais métalliques font partie de la masse même qui les con-

tient; tel est l'oxide d'étain, qui est disséminé dans certains granites, dans lesquels il a cristallisé de la même manière que le feldspath ou le mica. De même, lorsque des amas de minerai se rencontrent au milieu d'un massif sans fissures ni failles, la formation paraît en avoir été contemporaine à celle de la roche. Si l'on examine attentivement quelques-uns de ces systèmes de petites veines métallifères qui se coupent les unes les autres dans toutes les directions, on croit y reconnaître des fentes qui se seraient produites pendant la consolidation de la roche, et qui auraient été remplies plus tard par des minerais métalliques provenant de la roche même. Il paraît en général que les parois de ces fentes se joignaient jadis, et l'on reconnaît de chaque côté de ces petites veines des accidents de la roche qui se correspondent d'un côté à l'autre. D'autres systèmes de petites veines entrelacées paraissent avoir été remplis pendant la formation même de la roche; mais dans les deux cas, les substances métalliques contenues dans ces veines doivent avoir fait jadis partie de la roche même qui les renferme. Il paraît y avoir une grande analogie entre ces veines et celles de quarz ou calcaires qu'on observe dans un grand nombre de roches.

Les faits que nous venons de citer semblent indiquer que c'est dans les roches qui forment les parois des filons métallifères qu'il faut chercher l'origine d'une grande partie des substances qu'ils renferment; nous ajouterons que les roches mêmes, à l'approche des filons, offrent des caractères différents de ceux qu'elles ont à quelque distance. Il est naturel de penser que les substances contenues dans les filons métallifères, surtout dans les plus anciens de ces filons, peuvent avoir été produites de plusieurs manières diverses. Il serait cependant prématuré de pousser plus loin ce raisonnement avant de posséder plus de données que nous n'en avons sur ce sujet; il faut examiner avec soin les circonstances particulières dans lesquelles peut s'être produit un filon, ou un système de filons déterminé, et voir jusqu'à quel point la différence ou la ressemblance entre les substances contenues dans les divers filons est en rapport avec ces circonstances. Après avoir ainsi distingué et classifié attentivement les faits observés, on pourra parvenir à reconnaître les causes et les modifications des causes qui ont donné lieu à ces faits eux-mêmes.[1]

[1] Nous nous sommes abstenu de parler des effets probables de l'électricité dans la production de quelques-unes des substances contenues dans les filons métallifères; les nouvelles recherches brillantes de M. Faraday ont mis ce sujet sous un nouveau point de vue, et il faudra reprendre l'examen de plusieurs faits que l'on a négligés jusqu'ici avant de pouvoir raisonner d'une manière générale sur le rôle de l'électricité dans la formation des filons métallifères.

CHAPITRE XI.

Après qu'il eut été bien reconnu que les restes d'animaux et de végétaux ensevelis à différentes époques et à des profondeurs diverses dans l'écorce du globe, provenaient des dépouilles d'êtres organiques qui avaient vécu jadis à la surface de la terre, on admit assez généralement, surtout d'après les recherches de MM. Cuvier et Brongniart dans les environs de Paris, et celles de M. Smith en Angleterre, que les dépôts contemporains étaient caractérisés par des débris organiques semblables. Tant que l'on supposa que ces dépôts se reconnaissaient à leur composition minéralogique, ou autrement, qu'une structure minéralogique déterminée suffisait à préciser l'âge géologique d'une roche, ce fut une hérésie que de douter que l'on pût trouver dans un terrain fossilifère donné, dans quelque localité que ce fût, d'autres fossiles que ceux de certains groupes déterminés pour chacun de ces terrains.

Cette opinion a été tant soit peu modifiée, mais on admet encore la supposition que des débris organiques semblables caractérisent les dépôts contemporains sur des surfaces très-étendues; à tel point du moins que, si l'on découvrait une bélemnite dans la chaîne de l'Himalaya, on serait disposé à croire *à priori* qu'elle s'y trouve dans une portion de la série des couches qui contiennent des bélemnites en Europe. On suppose aussi que la même espèce de coquille fossile caractérise un même dépôt sur des surfaces considérables.

Aujourd'hui, que la science géologique est plus avancée, on ne peut admettre qu'un dépôt puisse ou non être déterminé par les fossiles qu'il contient, avant que d'avoir mûrement examiné les conditions actuelles d'existence de la vie animale et végétale. Quelques-unes de ces conditions sont assez bien connues, de sorte qu'en étudiant soigneusement les caractères zoologiques et botaniques d'une roche fossilifère, nous pouvons connaître par approximation jusqu'à quel point la vie animale et végétale a pu exister jadis, dans des circonstances analogues aux actuelles, ou combien les conditions de la vie organique peuvent avoir varié depuis les époques anciennes.

Il importe surtout de rechercher avec soin les conditions nécessaires à la vie des animaux marins, que l'on reconnaît, d'après les

formes observées dans les débris organiques, avoir été le plus abondamment ensevelis dans les couches de la terre, depuis que sa surface a été appropriée à leur existence; au point que si on enlevait de la masse générale des couches fossilifères toutes les dépouilles d'animaux marins qu'elles contiennent, le volume de ces couches serait tellement réduit, que, dans plusieurs cas, des roches composées à peu près exclusivement de débris d'animaux marins, devraient presque entièrement disparaître.

La température de la mer n'est point exposée à ces grands changements brusques que l'on observe dans l'atmosphère. Sans doute que les changements des climats suivant les saisons, produisent des variations analogues dans la température des eaux des zones correspondantes; mais ces variations sont relativement peu considérables, ainsi qu'on peut s'en assurer en comparant les tables des températures de la mer sur une côte quelconque avec les températures de l'air dans la même localité. Ainsi les animaux marins ne sont pas sujets, au même point que les animaux qui respirent l'air libre, à la nécessité d'un changement d'habitation d'après les seuls effets des changements de température.

La température de la mer est nécessairement sujette à de plus grandes variations dans les eaux peu profondes que dans les hautes mers; il s'ensuit que les animaux qui vivent de préférence sur les bas-fonds seront exposés (à moins qu'ils ne soient organisés de manière à supporter tous les changements de température, comme le sont sans doute plusieurs de ces animaux) à changer de demeure plus souvent que ceux qui vivent dans la haute mer, en supposant que celle-ci soit habitée[1]. En d'autres termes, nous devons nous attendre à ce que les animaux marins qui habitent les bas-fonds près des côtes, vivent à des profondeurs moins constantes que ceux qui habitent des eaux plus profondes.

Si l'on part du niveau de la mer à l'équateur, et que l'on néglige les petites irrégularités de détail, la température décroîtra verticalement, soit qu'on descende jusqu'aux plus grandes profondeurs

[1] Les poissons et les mollusques des bas-fonds sont sujets aussi à changer leur demeure, à cause de l'agitation des vagues. Quelques-uns d'entre ces animaux se réfugient dans des mers plus profondes; d'autres se retirent dans des baies ou des criques plus tranquilles. Quelquefois, après de grandes tempêtes d'une longue durée, on trouve des animaux marins dans des embouchures de rivières, où ils ne pénètrent jamais dans des temps de calme. Des peignes entrent souvent, lorsqu'il fait mauvais temps en mer, dans des criques et des embouchures sur les côtes du Devonshire, à moins que l'eau n'en soit entièrement douce, et ils s'en éloignent aussitôt que les tempêtes ont cessé.

de l'océan, soit qu'on s'élève vers les plus hautes cimes qui se projettent dans l'atmosphère. On aura ainsi des hauteurs ou des profondeurs auxquelles les animaux qui recherchent une température donnée peuvent la trouver entre certaines limites. Mais la température, quoiqu'elle soit une des conditions nécessaires à l'existence de la vie animale, et qu'elle contribue surtout à la distribution qu'affectent les animaux à la surface du globe, n'est point la seule circonstance à laquelle il faille avoir égard dans des recherches de cette nature. De même que nous voyons les animaux vivant dans l'atmosphère rechercher des densités d'air déterminées, de même il y a des densités d'eau fixées pour la vie des animaux marins. Si l'on réfléchit que la vie animale décroît à mesure que l'atmosphère devient plus froide et moins dense, et que la vie marine est moins abondante à mesure que la pression de l'eau augmente et que la lumière diminue, on aura, pour ainsi dire, deux séries de zones, l'une s'élevant au-dessus de l'océan, l'autre descendant au-dessous; et les termes de chaque série, toutes choses égales d'ailleurs, offriront les circonstances les plus favorables au développement de la vie animale, à mesure qu'ils approchent de la surface de l'océan.

Tous les naturalistes savent que les animaux marins vivent à des profondeurs d'eau déterminées pour chaque espèce; ce qui implique qu'il leur faut une pression d'eau et une température données. Ainsi, les animaux marins que l'on pêche entre les tropiques à de grandes profondeurs, et qu'on ne rencontre jamais sur les bas-fonds, existent habituellement sous une plus grande pression et à une température plus basse que les autres êtres tropicaux qui vivent dans les basses eaux. On voit, par les expériences faites sur la température des mers des tropiques à diverses profondeurs, combien les animaux habitant les bas-fonds sous ces latitudes se trouveraient bientôt dans des circonstances défavorables à leur existence, sans même tenir compte de la différence de pression qui, sans aucun doute, produirait des effets tout aussi désastreux. Les expériences de MM. Sabine, Wauchope et Lentz[1] prouvent que, tandis que la température de la surface de la mer sous les tropiques est de 26° centigrades environ, on peut trouver une température variant de 2°,22 à 10° centigrades à la profondeur de mille brasses environ; la température des grandes profondeurs étant plus élevée à mesure qu'on approche de l'équateur. La manière dont décroît la température est très-bien indiquée dans les expériences faites par M. Lentz à 21° 14′ de latitude nord. L'eau à la surface étant à 26° 39, il

[1] *Manuel géologique*, art. *Température de la mer.*

trouva 16°33 à 150 brasses; 3°17 à 440 brasses; 2°89 à 709 brasses; et 2°50 à 976 brasses. On voit que les changements de température sont très-rapides à des profondeurs moyennes, tandis que dans les grandes profondeurs la température est plus constante; c'est là un fait général, qui a été reconnu, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, sous toutes les latitudes.

Le changement de température qui a lieu à mesure que la profondeur de la mer augmente, ayant quelque rapport avec ce qui se voit à mesure qu'on s'élève au dessus de son niveau, on est naturellement conduit à se demander si les êtres que l'on sait exister dans les eaux des climats tempérés, ne pourraient pas vivre sous les tropiques à des profondeurs où ils trouveraient la même température, tout comme les plantes qui vivent dans le Nord au bord de la mer, peuvent se retrouver sur les hautes montagnes des zones tempérées. On pourrait dire, sous le rapport de la pression, qu'il n'y a point de raison *à priori* pour que certaines plantes pussent plutôt soutenir des pressions différentes, que ne le pourraient certains animaux marins. Nous ne nous arrêterons pas à examiner jusqu'à quel point il y aurait de l'analogie entre les deux cas; car il est une autre considération, beaucoup plus importante, dont il faut nécessairement tenir compte dans toute recherche du genre de celles qui nous occupent dans ce moment. Les êtres marins qui vivent habituellement sur des bas-fonds, et par conséquent dans un milieu dans lequel l'air atmosphérique est disséminé avec abondance, pourraient-ils également vivre dans de grandes profondeurs, où nous pouvons juger que, s'il se trouve de l'air atmosphérique, il doit tout au moins y être infiniment plus rare?

Nous savons, pour ce qui concerne les poissons d'eau douce, que si on les plonge dans de l'eau distillée, ils y meurent par le manque de l'air que contiennent ordinairement les eaux des lacs et des rivières, et nous pouvons en conclure que les poissons de mer ne pourraient pas plus vivre dans une eau qui ne contiendrait pas d'air disséminé, que les poissons d'eau douce dans l'eau distillée.

Toute l'analogie présumée plus haut entre les plantes et les animaux, paraît donc cesser; car les plantes pourraient tout aussi bien se procurer les matières gazeuses nécessaires à leur existence, dans une position que dans l'autre; il importe cependant de ne pas oublier que, par suite de l'appropriation de la vie animale et végétale aux situations auxquelles elle est destinée, un grand nombre de plantes qui vivent dans des régions où la densité de l'atmosphère est comparativement faible, sont pourvues, suivant M. de Humboldt, d'une abondance de vaisseaux sécrétoires, en sorte que la respiration des

feuilles de ces plantes se trouve dérangée lorsqu'on les transporte dans des régions où la pression atmosphérique est plus forte.[1]

On ne saurait guère comprendre comment les animaux marins pourraient décomposer l'eau pour se procurer l'oxigène qui leur est nécessaire; c'est donc l'air absorbé par l'eau et disséminé dans la masse de l'océan, qui doit fournir à ces créatures leur moyen principal d'existence, en admettant que l'oxigène est nécessaire à toute la création animale, et que la vie ne peut se soutenir que par l'absorption à intervalles fixes d'une quantité déterminée d'oxigène, quelque inégaux que ces intervalles puissent être dans les différents animaux[2]. Nous n'avons aucune donnée sur les profondeurs jusqu'auxquelles l'air peut se trouver disséminé dans l'eau; mais les observations curieuses de M. Biot sur les gaz contenus dans la vessie natatoire des poissons, nous prouvent que ces gaz varient probablement suivant les profondeurs auxquelles les poissons vivent d'habitude. M. Biot trouva que ces vessies n'étaient point remplies d'air atmosphérique, mais d'azote presque pur, dans les individus qui vivent près de la surface; et d'un mélange de près de neuf parties d'oxigène et une d'azote dans ceux qui vivent dans des profondeurs de 500 à 600 brasses[3]. On peut en conclure que les poissons peuvent difficilement se procurer de l'azote dans les grandes profondeurs, tandis qu'il abonde près de la surface, et que par conséquent l'air atmosphérique est plus abondamment disséminé à la surface que vers le fond de la mer. On peut supposer aussi que l'eau de la mer absorbe l'oxigène plus facilement que l'azote, et que par conséquent le premier de ces gaz peut se trouver disséminé dans l'eau à de plus grandes profondeurs. Quoi qu'il en soit, la différence des gaz contenus dans les vessies natatoires des poissons est un fait très-remarquable; il paraît indiquer qu'il y a une différence dans les matières gazeuses disséminées dans l'eau de la mer à diverses profondeurs, du moins en ce qui regarde les quantités relatives d'oxigène et d'azote.

On pourrait croire que les poissons étant pourvus de ces vessies

[1] *Tableaux de la nature*, tom. 2, p. 106.

[2] On pourrait dire à la vérité que si les animaux inférieurs consomment une petite portion de l'oxigène faisant partie de l'air atmosphérique disséminé dans les grandes profondeurs, les intervalles entre les absorptions peuvent être si grands pour ces animaux, et la quantité d'oxigène qui leur est nécessaire si petite, qu'un très-petit volume d'air pourrait leur suffire pour des temps considérables. S'il en était réellement ainsi, on aurait là encore une preuve de l'appropriation des organes des animaux aux conditions dans lesquelles ils se trouvent placés.

[3] Biot, cité par Pouillet, *Éléments de physique expérimentale*, tom. 1, p. 187.

natatoires, ils devraient être susceptibles de s'élever dans l'eau à la hauteur qui leur plairait, et qu'ils pourraient se procurer, en conséquence, toute la quantité de l'air disséminé qui leur est nécessaire. Il paraît pourtant, quoique les poissons puissent monter et descendre à volonté entre certaines hauteurs d'eau, que leurs habitations sont limitées, suivant les espèces, à des zones d'eau d'une certaine épaisseur. Comme les poissons, ou du moins le plus grand nombre d'entre eux, montent et descendent dans l'eau en dilatant ou comprimant les gaz contenus dans leur vessie natatoire, il est évident que lorsque ces gaz auront acquis, par la pression, une densité égale à celle de l'eau ambiante, les poissons ne pourront pas descendre plus bas sans de grands efforts musculaires; de même qu'ils ne pourront que difficilement s'élever au delà d'une certaine hauteur. M. Pouillet a remarqué, à ce propos, que le gaz contenu dans les vessies natatoires de poissons pêchés à la profondeur de mille mètres, c'est-à-dire sous une pression égale à peu près à cent atmosphères, augmente tellement de volume en arrivant à la surface, que, tout effort musculaire ne pouvant le contenir, il s'échappe en refoulant la vessie, l'estomac et les organes voisins, qui sortent par la gueule en formant un ballon fort singulier.[1]

Nous n'avons aucune raison de croire que les diverses espèces de poissons soient les seuls êtres marins dont l'habitation est limitée à de certaines profondeurs d'eau déterminées; il est plus naturel de penser que tous les animaux qui vivent dans l'océan s'y trouvent dans la même condition. La pression et la température changent avec la profondeur; et il ne doit pas être plus facile à un animal, quel qu'il soit, de vivre tout aussi bien près de la surface de la mer et à mille brasses de profondeur, qu'il ne le serait à un homme de respirer aussi aisément à 30,000 pieds d'élévation qu'il le fait dans nos plaines. Dans toute l'organisation animale, les espèces paraissent formées pour supporter une pression particulière, soit d'air ou d'eau, pression qui est celle qui se rencontre dans l'habitation à laquelle ces espèces sont destinées. Cependant les animaux vivant dans l'atmosphère souffriront moins, toutes choses égales d'ailleurs, d'un changement vertical d'une hauteur déterminée, que ne le feraient des êtres vivant dans l'eau. Un aigle, habitué à planer à de grandes élévations, peut vivre au niveau de la mer; mais il est très-douteux qu'un requin puisse vivre longtemps à de grandes profondeurs, quoique les animaux de proie soient, certes, organisés de manière à supporter plus facilement de tels changements, par la nécessité

[1] *Éléments de physique expérimentale*, tom. 1, p. 188. Seconde édition.

dans laquelle ils se trouvent de rechercher leur proie à différentes hauteurs d'eau.

Les poissons ne peuvent se tenir sans effort à quelque hauteur d'eau que ce soit, si leur pesanteur spécifique du moment n'est pas celle exactement du milieu dans lequel ils se trouvent. Il est évident que dans plusieurs poissons le changement de pesanteur spécifique relative se fait par la contraction ou la dilatation des gaz contenus dans la vessie natatoire, et nous avons vu plus haut quelles sont les conséquences du transport de ces gaz des grandes aux petites profondeurs. Il se présente maintenant une autre question. Le fluide qui circule dans les animaux marins est, suivant toute probabilité, d'une densité telle à pouvoir se mouvoir sous la pression d'une hauteur d'eau déterminée; un changement dans cette hauteur d'eau, ne serait-il pas suivi d'un changement correspondant dans la circulation de ces animaux? Quoique l'on puisse regarder le fluide circulant et l'eau ambiante comme doués d'une certaine élasticité, cette élasticité ne produirait jamais des effets analogues à ceux qui sont dus à l'expansion des substances gazeuses; il faudrait donc probablement des différences de pression très-considérables pour produire des effets appréciables.

Partout où il existe une créature, nous pouvons la regarder comme contenue en partie par une pression donnée, telle que cette créature puisse se mouvoir librement dans le milieu gazeux ou aqueux dans lequel elle vit habituellement. La force musculaire est proportionnée à cet état de choses. Que si cette pression diminuait par une cause quelconque, l'être organique tendrait à changer de volume, afin de s'adapter au milieu ambiant. Ce dérangement se ferait ressentir d'abord dans les vaisseaux les plus subtils et les plus délicats, construits avec une précision si parfaite que les causes qui déterminent leur action sont toujours égales aux effets qu'elles doivent produire. Une pression adaptée à l'organisation de l'animal, fait partie de ces causes; et lorsque cette pression devient plus ou moins grande que d'habitude, l'animal souffre en proportion de cette différence, au point que, si elle devient considérable, l'animal cesse d'exister. Quoique l'homme puisse vivre sous des pressions différentes sans en éprouver des sensations désagréables, cependant sur de hautes cimes telles que le Mont-Blanc, et par conséquent sous une pression considérablement moindre que l'habituelle, il est exposé, par le manque de la pression qui lui est nécessaire, aux sensations les plus pénibles; chaque pas qu'il fait est pour lui un grand effort; sa respiration est accélérée, les vaisseaux sanguins les plus ténus commencent à céder, et il se sent dans des conditions

pour lesquelles il n'est point organisé. Ce qu'il éprouve lui apprend, en un mot, qu'il ne peut continuer d'exister que sous une pression donnée, à laquelle toutes les parties de son corps sont adaptées.

Lorsque l'on étudie les effets de la pression sur les animaux marins, il ne faut point oublier que, d'après la grande différence qui existe entre l'élasticité de l'air et celle de l'eau, le changement de pesanteur spécifique relative d'un animal qui s'élèverait à une hauteur donnée dans l'atmosphère, serait beaucoup plus grand que celui d'un animal marin non pourvu de vessie natatoire ou d'un organe analogue, qui descendrait dans la mer à une profondeur égale. En ce qui concerne les fluides, et en estimant les changements des pesanteurs spécifiques relatives avec le milieu ambiant, qu'un animal peut supporter sans inconvénient, par ceux que peut supporter un homme dans un air raréfié ou condensé, on peut croire que la seule différence dans les pesanteurs spécifiques relatives de l'eau de la mer et des fluides qui circulent dans les animaux marins, ne produirait pas de grands effets, même par de grands changements de profondeur. Il en est autrement pour ce qui a rapport aux différences de pression. Un animal vivant à la profondeur de 100 pieds aurait à soutenir une pression d'environ 60 livres par pouce carré (en y comprenant la pression de l'atmosphère), tandis qu'à 4000 pieds, profondeur qui n'est pas extraordinaire, un animal supporterait une pression de 1830 livres à peu près par pouce carré. Il est impossible, d'après ce que nous savons sur la structure générale des animaux et sur la délicatesse de leurs organes, de supposer qu'il existe un animal capable de supporter impunément une différence de pression si énorme.

On peut conclure en toute sûreté, que, puisque la pression, la température et probablement aussi la quantité d'air disséminé changent dans la mer en raison de la profondeur, les animaux marins doivent avoir une organisation adaptée aux conditions sous lesquelles ils sont appelés à vivre; et comme ces conditions varient, il est probable que l'organisation des animaux variera d'une manière correspondante dans les différentes profondeurs. Il est encore un élément dont il faut tenir compte ici; nous voulons parler de la lumière. Il est difficile de dire jusqu'à quel point la lumière est nécessaire à la vie des êtres marins; quelques animaux qui habitent dans la vase et les bancs de sable, peuvent en tout cas vivre longtemps sans lumière, et ils s'en passent de leur propre choix; mais la lumière doit être essentielle à tous les animaux qui sont doués des organes de la vision. Il s'ensuit que ces animaux doivent rechercher les hauteurs d'eau auxquelles ils trouvent le degré de lumière qui

leur est convenable : en sorte que nous devons nous attendre à trouver dans des eaux relativement peu profondes la plus grande masse des poissons, des crustacés et de ceux des mollusques qui ont des yeux. Ceux de ces animaux qui vivent dans des eaux plus profondes, où il y a moins de lumière, doivent présenter quelque modification dans les organes de la vision qui puisse les préserver de l'inconvénient de vivre dans une obscurité relative. C'est là précisément ce qui a lieu, et nous citerons pour exemple le *Pomatomus telescopium*, pêché à des profondeurs considérables sur les côtes de Nice, dont les yeux, remarquables par leur grandeur, sont formés pour tirer parti de tous les rayons de lumière qui peuvent pénétrer jusqu'aux lieux qu'il habite.

Nous ne pouvons nécessairement avoir que peu de données sur les profondeurs auxquelles vivent les mollusques qui habitent les divers coquillages. Les coquilles qu'on trouve communément au bord de la mer, y ont été rejetées par l'action des vagues qui viennent se briser le long du rivage. Dans les circonstances ordinaires la mer ne rejette que les coquilles seules ; ce n'est qu'après des tempêtes violentes qui ont produit de grandes agitations sur les bas-fonds voisins des côtes, que l'on trouve encore les animaux dans les coquilles rejetées sur les plages. Il paraîtrait que le mouvement de l'eau dans les grandes tempêtes, a balayé les sables ou la vase dans laquelle vivent habituellement quelques-uns des mollusques, et que, ne pouvant résister à l'action des vagues, ces animaux ont été rejetés ainsi sur le rivage.

Il est évident que, les vagues n'ayant une action capable d'enlever des coquilles qu'à des profondeurs peu considérables, l'on ne peut trouver sur les plages, dans les circonstances ordinaires, des coquilles d'animaux vivant à de grandes profondeurs ; et ce n'est qu'en pêchant, en draguant, ou par des moyens analogues, qu'on peut se procurer les coquilles des animaux qui se tiennnent de préférence à des profondeurs en dehors de l'action des vagues. Nous ne pouvons donc savoir quelles sont les profondeurs exactes auxquelles vivent ces animaux, et il peut y avoir des espèces nombreuses, des genres entiers peut-être dont nous n'arriverons jamais à avoir connaissance dans l'état ordinaire des choses. On peut croire cependant que la grande pression, et les autres circonstances que nous avons mentionnées plus haut, doivent borner l'existence des mollusques à des profondeurs peu considérables. Les ouvrages de conchyliologie manquent, en général, de renseignements sur les profondeurs auxquelles on a trouvé des coqnilles avec leurs animaux en vie, au grand regret des géologues, qui sont privés ainsi

de l'aide que les débris organiques qui se trouvent dans une couche quelconque, pourraient leur donner pour fixer la profondeur probable à laquelle cette couche a été formée. C'est pourquoi M. Broderip a bien voulu, d'après ma demande, construire le tableau, qui se trouve à la fin du volume, dans lequel il indique la profondeur et la nature du fond sur lequel on a trouvé les genres connus des coquilles vivantes, soit marines, soit d'embouchure des fleuves.

On verra dans ce tableau que tous les mollusques qui y sont cités, ont été trouvés à des profondeurs moindres que cent brasses. Il ne s'ensuit pas que plusieurs espèces, même dans les genres cités, ne puissent vivre à des profondeurs plus grandes; il est même très-probable qu'il en existe au delà de 600 pieds; mais c'est un fait remarquable, que tous les animaux mollusques que nous connaissons jusqu'ici, à quelques exceptions près peut-être, ont été trouvés vivants à des profondeurs moindres. La surface comprise autour des îles Britanniques par la ligne de sonde de 100 brasses, comprend une grande étendue sur laquelle la profondeur est plus grande de beaucoup que celles citées dans le tableau. Il peut donc exister dans cette étendue de nombreuses espèces dont nous n'avons aucune connaissance. Nous avons peu de chances de connaître jamais les espèces qui vivent entre la ligne de 60 brasses et celle de 100 brasses. Tant que ces animaux sont en vie, ils peuvent facilement se maintenir à leurs places, dans de telles profondeurs, car il n'y a point de courant ou de marée qui puisse les y déranger, et l'action des vagues, si elle se fait ressentir jusque-là, ne peut être que tout à fait insignifiante. La pression entre ces deux lignes doit varier depuis près de 180 jusqu'à 285 livres environ par pouce carré, et cette pression ne doit pas être trop forte pour un grand nombre de mollusques, puisqu'on connaît des poissons qui vivent sous des pressions beaucoup plus considérables; mais il ne faut pas oublier que des mollusques organisés pour supporter une pression d'environ 200 livres par pouce carré, doivent difficilement s'élever jusqu'à des hauteurs où cette pression serait de beaucoup inférieure.

On peut conclure *à priori* que les mêmes espèces d'animaux marins ne doivent point vivre, en général, à des températures ou des profondeurs très-différentes. Cette conclusion est tellement d'accord avec les faits observés, que nous pouvons en tirer encore la conséquence que des températures égales ne suffiront point pour l'existence d'un animal marin quelconque, s'il y a de grandes différences de profondeur; c'est-à-dire, qu'il n'est point vraisemblable qu'un animal qui vit sur les bas-fonds des régions plus froides du globe, se

rencontre sous les tropiques dans des eaux ayant la même température, mais à une beaucoup plus grande profondeur; et réciproquement, les animaux marins qui vivent sous les tropiques à des profondeurs considérables, ne doivent guère pouvoir exister sur les bas-fonds des zones plus froides. Ainsi, lorsque nous nous occuperons de la distribution des animaux marins à la surface du globe, nous n'aurons pas à craindre d'être induits en erreur, parce que des espèces que nous connaissons sur les bas-fonds des climats tempérés, se trouveraient ailleurs à des profondeurs plus grandes auxquelles nous ne pourrions les atteindre.

Puisque la température, la profondeur de l'eau, et la quantité d'air disséminé, ont une si grande influence sur l'existence des animaux marins, on pourrait conclure que, toutes choses égales d'ailleurs, on doit trouver les mêmes espèces à des profondeurs déterminées et sous des latitudes semblables. Ce n'est point là cependant ce qui s'observe dans la nature, où nous trouvons, à quelque exception près, que des espèces fort différentes se trouvent dans des conditions qui paraissent identiques[1]. En admettant donc que les espèces sont des créations distinctes, et non de simples modifications des genres, en conséquence du temps et des lieux, on arrive à conclure que l'on ne trouve point les mêmes espèces sous des conditions égales; et que les espèces ont été créées séparément suivant que les lieux qu'elles habitent étaient appropriés à leur existence.

Cette différence des espèces d'animaux marins dans des conditions semblables, en ce qui regarde la température et la profondeur de l'eau, prouve combien il faut être circonspect, en jugeant des époques anciennes par ce qui se passe de nos jours, lorsqu'on serait tenté de décider *à priori* que deux couches sont d'âge différent, parce qu'elles contiennent des fossiles marins différents; car, si nous n'avons point de motif pour nous attendre à trouver le même ensemble d'êtres organiques dans les conditions les plus favorables à une telle identité, à plus forte raison ne pourrons-nous trouver cette égalité d'espèces dans des circonstances moins favorables.

Que si nous passons des animaux marins aux terrestres, nous voyons encore que les mêmes conditions de climat et d'élévation au-dessus du niveau de la mer, ne nous offrent pas généralement

[1] On a cru inutile de rappeler ici la distribution géographique des animaux marins, sur laquelle on trouvera tous les détails possibles dans les ouvrages spéciaux; d'ailleurs, ces détails seraient d'autant plus superflus pour les géologues, que M. Lyell s'est étendu considérablement sur ce sujet dans le second volume de ses *Principes de géologie*.

les mêmes espèces d'animaux ou de plantes[1]. Les uns et les autres sont toujours admirablement organisés pour les circonstances dans lesquelles ils se trouvent placés, mais l'identité des espèces n'est pas une conséquence de l'identité de ces circonstances. Sans doute que plusieurs plantes peuvent s'accommoder à des conditions différentes, ainsi qu'on le voit dans nos jardins; et plusieurs animaux peuvent vivre sous des climats très-différents, et passer des régions tempérées aux tropicales, ou *vice versa*. Mais si l'on considère la chose en grand, tout en admettant des exceptions nombreuses, on peut dire que les plantes et les animaux terrestres paraissent destinés à occuper les situations dans lesquelles on les trouve, tout comme ces situations paraissent destinées pour l'habitation des êtres organiques qui les occupent. Ces êtres paraissent avoir été créés à mesure que les conditions de leur existence se sont développées, sans que ces conditions ayent causé dans des types déjà existants des modifications qui auraient donné lieu à de nouvelles espèces.

Si l'ensemble de l'organisation végétale et animale était aujourd'hui le même qu'il a toujours été, les espèces existantes, qui, lorsque la surface des continents éprouve des changements, peuplèrent les régions qui venaient d'être émergées, durent arriver d'autres localités dont les circonstances étaient semblables ou différentes. Si ces circonstances étaient différentes, les espèces auraient donc la faculté de vivre sous des conditions diverses; et si elles étaient les mêmes, il faudrait que l'ancienne et la nouvelle localité fussent contiguës l'une à l'autre, sans quoi les animaux ou les plantes auraient dû traverser des régions qui ne leur étaient point convenables.

Si un même ensemble d'organisation animale et végétale avait donné lieu à toutes les variations de forme qui se sont produites à la surface de la terre durant le cours des siècles, nous devrions nous attendre à trouver une grande uniformité dans la distribution de cette organisation, et les terrains fossilifères de toutes les époques devraient offrir, pris en masse, une grande ressemblance dans les débris organiques qu'ils contiennent. Or, comme cette conformité ne se rencontre ni dans la distribution actuelle de la vie animale et végétale à la surface du globe, ni dans les fossiles des couches de l'écorce terrestre, nous sommes conduits à admettre ou que le type originaire de l'organisation animale et végétale a pu se modifier pour s'adapter à tous les changements survenus à la

[1] Nous devons également renvoyer pour plus de détails aux ouvrages qui traitent de la distribution de l'organisation animale et végétale à la surface du globe. Il serait incompatible avec le plan de cet ouvrage, de nous étendre davantage sur ce sujet.

surface de notre planète depuis que la vie existe, ou bien qu'il y a eu des créations successives à mesure qu'il se présentait de nouvelles conditions d'existence, en sorte que tout lieu capable d'entretenir la vie a été occupé par les êtres appropriés à ce lieu. Il y aura probablement peu de personnes qui, voyant la beauté du plan de la création, si apparente surtout dans l'organisation des animaux et des végétaux, veuillent se refuser à admettre qu'il y a eu une succession de créations à mesure que de nouvelles conditions se présentaient à la surface du globe, et qui préfèrent croire qu'il y a dans la vie organique une capacité de se modifier suivant les circonstances, capacité dont le résultat définitif serait de convertir un polypier en un homme.[1]

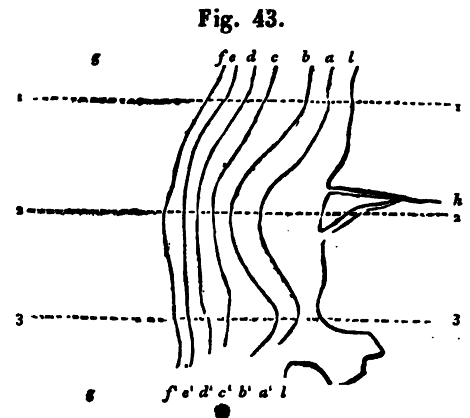
[1] Nous ne prétendons nullement que la forme des espèces ne puisse être fortement modifiée par les circonstances dans lesquelles elles se trouvent placées; nous savons au contraire que c'est là un fait bien constaté. M. Gray a démontré que plusieurs des mollusques (animaux si importants en géologie) peuvent changer l'épaisseur de leur test suivant qu'ils vivent dans des eaux agitées ou tranquilles. Il annonce que « les coquilles du *Buccinum undatum* et du *Buccinum striatum* « de Pennant, ne diffèrent entre elles que parce que la première, formée dans « une eau agitée, se trouve être en conséquence épaisse, solide et pesante, « tandis que la seconde, qui a vécu dans les eaux tranquilles des ports, y est « devenue légère, lisse et souvent colorée. » (*Phil. Trans.* 1833, p. 784.) Le même auteur remarque aussi que « les coquilles qui présentent des varices branchues ou dilatées, telles que les *Murex*, sont sujettes à de grands changements suivant les circonstances dans lesquelles elles se trouvent placées, ce « qui a fait que plusieurs variétés, dues à des causes locales, ont pu être considérées comme des espèces distinctes. Le *Murex angulifer* n'est autre chose « que le *Murex ramosus* avec des varices simples; et les *Murex erinaceus*, « *torosus*, *subcarinatus*, *cinguliferus*, *tarentinus* et *polygonus*, sont tous des « variétés d'une même espèce. Le *Murex magellanicus*, lorsqu'on le trouve dans « des eaux tranquilles, est recouvert de larges expansions foliacées aiguës, tandis « que la même coquille, dans les mers agitées, n'offre aucune expansion et n'a « que des côtes croisées; dans ces dernières localités elle atteint rarement de « grandes dimensions; mais quand elle les atteint, elle devient très-solide et « perd presque toute apparence de stries. » (*Ibid.*) Ces modifications des coquilles, suivant les conditions dans lesquelles les animaux ont vécu, sont d'une fort grande importance pour les géologues, qui ne peuvent jamais connaître des mollusques fossiles que la forme des coquilles. Et, pour embarrasser encore plus leurs jugements, il paraît que des animaux différents peuvent habiter les mêmes coquilles. De tels exemples sont probablement fort rares, mais suivant M. Gray, « les coquilles des *Patella* et des *Lottia* ne diffèrent aucunement dans « leur forme extérieure, et cependant leurs animaux appartiennent à des ordres « tout différents. »

CHAPITRE XII.

Puisque la vie animale et végétale est distribuée à la surface de notre planète de telle sorte que les mêmes conditions d'existence n'offrent point nécessairement les mêmes espèces, il s'ensuit que les dépouilles organiques qui peuvent se trouver enfouies dans les couches qui se forment aujourd'hui ne seront point nécessairement identiques, même à latitude égale. La distribution des espèces animales et végétales étant si variée, aucun géologue ne peut s'attendre à trouver une couche moderne caractérisée sur des points éloignés l'un de l'autre par les mêmes débris organiques, ce qui ne pourrait avoir lieu que dans des circonstances très-favorables. Certes, personne ne serait surpris de ne point trouver dans les couches qui se forment aujourd'hui sur les côtes de la Grande-Bretagne une seule espèce identique avec celles des couches qui peuvent se former aux Indes. Même à latitudes égales, on ne peut s'attendre à ne trouver que des espèces identiques dans les couches modernes des côtes d'Afrique et d'Amérique, ou d'Amérique et de l'Australie, encore moins s'attendra-t-on à ne découvrir que les mêmes plantes et les mêmes animaux dans les dépôts lacustres qui se forment aujourd'hui dans ces diverses contrées, quelque identiques que soient les climats des localités qu'on voudra comparer entre elles.

Lorsqu'on examine l'hydrographie générale de notre planète, on est frappé de l'espèce de bordure que les lignes de sondage dessinent autour des continents. Cette bordure est sans doute fort irrégulière, la limite extérieure, c'est-à-dire le passage de la profondeur de 150 ou 200 brasses à la mer sans fond, approchant quelquefois de la côte et s'en éloignant ailleurs suivant les diverses combinaisons des circonstances locales. Ces bordures présentent cependant un caractère général d'uniformité; elles constituent des plaines fort peu inclinées en général, qui se continuent jusqu'à une profondeur qui est entre 600 et 1200 pieds, au delà de laquelle il y a le plus souvent un passage brusque à une eau beaucoup plus profonde.

Fig. 43.



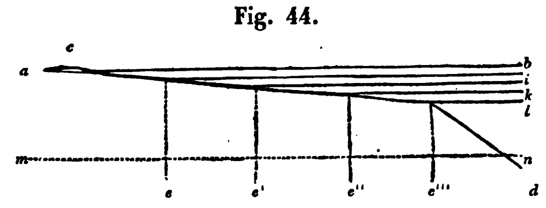
. Supposons que 1, 1; 2, 2; 3, 3 représentent, dans la figure 43, des parallèles de latitude assez éloignés entre eux pour qu'il y ait de l'un à l'autre une différence de température notable; *ll* une ligne de côtes s'étendant du Nord au Sud, et *ff'* la limite des sondes en avant de ces côtes, au delà de laquelle limite le fond se perdrait brusquement en *gg*. Supposons en outre que les lignes *aa'*, *bb'*, *cc'*, *dd'* et *ee'* représentent des lignes d'égale profondeur entre la côte et la limite des sondes. Il est évident que si on regarde l'espace où l'on est sur la sonde comme formant un plan incliné depuis la côte jusqu'à sa limite, que nous supposerons, pour le moment, s'étendre jusqu'à la profondeur de 150 brasses, on aura une série de zones de diverse profondeur, et par conséquent de diverse température et diverse pression. On peut en conclure que chacune de ces zones sera habitée par des êtres dont l'ensemble différera d'une zone à l'autre.

Les zones limitrophes pourront contenir quelques animaux marins communs à deux ou trois zones; mais cette identité d'espèces sera d'autant moins grande que les zones seront plus écartées les unes des autres. Nous avons supposé que la ligne des côtes (fig. 43) est dirigée du Nord au Sud; on aura donc, au fond de la mer, une plus grande pression et une température plus basse à mesure que l'on s'avancera vers l'Ouest. Il y aura encore une autre cause de différence dans les animaux marins du fond des mers dont nous nous occupons. Les lignes 1, 2, 3 représentant des parallèles de latitude assez éloignés pour qu'il y ait entre eux une différence de climat, on aura une seconde série de zones, qui couperont les premières à peu près à angle droit, et qui produiront de nouveaux change-

ments dans la distribution des animaux marins. Les animaux qui vivent entre les lignes 1 et 2 ne seront pas les mêmes que ceux qui vivent entre les lignes 2 et 3. Nous avons ainsi différentes surfaces dont les conditions varieront en allant de l'Ouest à l'Est et du Nord au Sud; toute accumulation de détritus ou autres substances qui se distribuerait sur l'étendue représentée dans la figure 43, pour y former de nouvelles couches, ensevelira donc des êtres organiques différents d'une zone à l'autre, et les couches ainsi formées n'en seront pas moins contemporaines. On voit dans la figure 43 une autre cause de changement encore dans la distribution des êtres marins. La rivière *h*, qui se jette dans la mer en formant un delta à son embouchure, occasionnera des modifications considérables dans l'organisation animale par le mélange de l'eau douce qu'elle versera dans la mer. Les débris organiques, charriés par la rivière, produiront une modification générale des caractères zoologiques et botaniques des couches nouvellement formées, et l'on trouvera sur une partie du fond où l'on est sur la sonde un mélange d'animaux marins et d'eau douce, et probablement aussi d'animaux et de végétaux terrestres.

Nous avons admis que dans la figure 43 le fond où l'on se trouve sur la sonde formait un plan incliné; ce ne serait point exactement le cas dans la nature, car des circonstances locales y donnent lieu en général à de petites élévations et dépressions en forme de bancs de sable ou de fosses plus profondes. Mais, pour ne point trop compliquer les choses, nous continuerons à admettre le fond où l'on est sur la sonde le long des côtes, comme formant un plan incliné. Supposons que *ab* (fig. 44) représente le niveau de la mer, *c* la côte, et *e*, *e'*, *e''*, *e'''* la coupe d'un fond où l'on est sur la

Fig. 44.



sonde qui passe brusquement en *d* à une mer sans fond. Aux diverses profondeurs *i*, *k*, *l* il y aura des températures et pressions diverses, et d'après ce que nous avons dit précédemment, les diverses parties du plan incliné *e*, *e'*, *e''*, *e'''*, coupées par les lignes des diverses profondeurs, seront habitées, généralement parlant, par des animaux marins différents.

Si maintenant toute la surface du sol, y compris le fond de la mer, venait à être soulevée graduellement de manière que la ligne *i* se trouvât former la surface de l'eau, les animaux qui vivaient entre les plans *b* et *i* pourraient se retirer à la partie du fond de la mer située entre *i* et *k*, où ils se trouveraient absolument dans les mêmes circonstances qu'auparavant. On aurait là des résultats d'un intérêt remarquable en géologie : les débris organiques qui viendraient à être ensevelis par une accumulation détritique ou autre, sur la surface comprise entre e' e'', ne seraient généralement plus les mêmes qu'auparavant. Les dépouilles d'animaux qui, dans l'état des choses que nous avons supposé originairement, auraient été ensevelies sur la surface e' e'', seraient recouvertes maintenant par des fossiles correspondant à ceux qui se trouvaient enveloppés d'abord dans les couches qui se formaient sur la surface e e'. La même chose aura lieu pour la surface e'' e''', dont les animaux se retireront à des profondeurs plus grandes.

Nous venons de supposer une élévation lente du fond de la mer; voyons maintenant quels seraient les effets d'un grand soulèvement plus brusque de ce même fond. Si toute l'étendue du fond où l'on est sur la sonde était soulevée à la fois d'environ 100 ou 150 brasses, en sorte que la nouvelle surface de la mer vînt à correspondre avec la ligne *mn* (fig. 44) par un mouvement qui, sans être assez brusque pour produire de grandes vagues, le fût assez pourtant pour empêcher la migration des mollusques et autres animaux qui vivaient sur ce fond, tous ces êtres seraient détruits sur la surface ainsi soulevée. Ceux qui seraient incapables de se déplacer rapidement périraient de même, si le soulèvement était plus lent, car ils ne pourraient atteindre la nouvelle ligne, où ils trouveraient la pression et la température pour lesquelles ils sont organisés.

Que le lecteur examine maintenant quels seraient les effets d'un soulèvement du fond de la mer qui entoure la Grande-Bretagne, qui porterait la ligne de 100 brasses au niveau de la surface de la mer sur les animaux marins, sur ceux au moins qui ne pourraient changer rapidement d'habitation[1]. Un tel changement de niveau peut paraître un trop grand événement aux personnes qui ne sont point familiarisées avec les phénomènes géologiques; mais l'étude de ces phénomènes prouve d'une manière évidente que de tels changements ont eu lieu souvent à la surface du globe, que ce ne sont même que des événements de peu d'importance dans l'histoire de

[1] Voir la carte à la page 135.

la terre : ils n'ont rien d'extraordinaire aux yeux du géologue; il ne peut y avoir de doute que relativement à la longueur du temps qu'a exigé le phénomène. Mais soit que le soulèvement eût lieu graduellement, ou qu'il se fît d'un seul coup, il y aurait de grands changements dans la condition des animaux marins qui existent maintenant sur la surface que nous supposons ainsi soulevée. Si le soulèvement était tant soit peu brusque, de manière que l'ensemble des animaux qui vivent aujourd'hui au fond de la mer ne pût parvenir à s'échapper, il y aurait une immense destruction d'espèces, car le plus grand nombre de celles qui sont particulières à la surface soulevée périrait probablement. Il resterait de nombreux bassins peu profonds d'eau salée, dans lesquels certaines espèces pourraient trouver un refuge pour quelque temps encore.

Les personnes qui ont vu la marée se retirer sur des plages peu inclinées, et qui ont observé la rapidité avec laquelle des surfaces étendues de sable ou de vase se trouvent à sec tout à coup, n'étant plus recouvertes que çà et là de petites flaques d'eau; ces personnes concevront facilement qu'un soulèvement du fond de la mer qui produirait un retrait analogue des eaux, ôterait à la grande masse des mollusques, et même à quelques poissons, toute chance de salut. Et pourtant le retrait de l'eau serait tel que la surface mise à sec ne serait pas plus ravinée que ne le sont les plages de la mer lors du reflux. Suivant toute probabilité le retrait des eaux pourrait être beaucoup plus rapide encore sans que le fond de la mer fût entamé. Il est peu de personnes qui se fassent une idée exacte de la rapidité avec laquelle la marée baisse sur certaines côtes; la rapidité du flux est assez connue au contraire à cause des dangers qu'elle entraîne avec elle. Nous demanderons donc que l'on mesure la rapidité des changements de niveau relatifs du fond des mers, par celle avec laquelle la marée monte sur les plages peu inclinées; on concevra mieux ainsi combien il serait difficile à la plus grande partie des animaux marins de quitter leurs demeures et suivre la marche des eaux; car on sait que sur certaines côtes la rapidité du flux est telle que des hommes ont la plus grande peine à atteindre le rivage, quoiqu'ils connaissent bien le danger qui les menace; et dans quelques localités il faut toute la vitesse d'un bon cheval pour éviter d'être atteint par les vagues. Il importe de remarquer ici que les animaux marins seraient pris tout à fait au dépourvu par le changement de niveau que nous avons supposé, et qu'ils ne sentiraient le danger que quand il serait trop tard pour s'en mettre à l'abri. Ceux qui sont accoutumés aux grandes marées périraient à coup sûr; car lorsque l'eau se reti-

rerait, ils n'éprouveraient aucune inquiétude, et ne chercheraient point à changer de place avant le moment où la marée remonte habituellement.

Il est donc évident que si un changement de niveau avait lieu dans la partie des mers qui entoure la Grande-Bretagne, de telle sorte que la ligne des 100 brasses vînt à la surface de l'eau, il y aurait une grande destruction d'animaux marins; les espèces appartenant à la surface laissée à sec, et qui n'ont point d'organes de locomotion très-actifs, seraient surtout entièrement perdues; et cela quand même le retrait de la mer ne serait pas plus rapide que celui qui a lieu à la marée descendante. Que si quelques animaux parvenaient à la limite de l'étendue actuelle des sondes, la surface sur laquelle ils pourraient s'établir serait tellement bornée (d'après la grande inclinaison du fond près de la nouvelle côte), que, même en supposant que toutes les circonstances appropriées à l'existence de ces espèces s'y pussent trouver réunies sur certains points, il y aurait un bien petit nombre d'animaux qui sût reconnaître justement les points qui leur seraient convenables.

Passons maintenant à d'autres conséquences de ce changement de niveau autour de la Grande-Bretagne. Il resterait sur plusieurs points de la surface mise à sec des bassins peu profonds dans lesquels pourraient se réfugier quelques animaux; mais ces bassins auraient été habités auparavant par d'autres animaux marins qui, si le changement de niveau n'était pas très-considérable, pourraient continuer à y vivre, pour quelque temps au moins. Que s'ils ne trouvaient plus dans ces bassins la profondeur d'eau qui leur est nécessaire, ils périraient probablement, et les bassins ne seraient plus habités que par les animaux qui s'y seraient réfugiés lors du soulèvement. Ces bassins n'existeraient pas longtemps dans leur première condition; la nouvelle surface émergée se trouverait exposée à tous les effets des actions atmosphériques. Les rivières d'une partie de la France, celles des îles Britanniques et des parties de l'Allemagne, de la Russie, de la Suède et de la Norwége, dont les eaux s'écoulent aujourd'hui vers la mer, qui serait desséchée alors, devraient continuer leur cours jusqu'aux nouvelles côtes, et se frayer un passage à travers différentes parties des nouvelles terres. Il y aurait d'abord des inondations considérables, par la difficulté de l'établissement des nouveaux lits des rivières, et il s'ensuivrait une grande perte d'eau par évaporation; mais dans un climat tel que celui sous lequel s'opérerait le changement de niveau supposé, les eaux accumulées auraient bientôt creusé de nouveaux canaux d'écoulement, et chaque rivière irait rejoindre

la mer en serpentant, suivant les accidents du sol qui lui offriraient le moins de résistance.

Une différence de niveau de 600 pieds sur toute l'étendue ainsi soulevée tendrait sans doute à changer le régime des eaux d'une partie de l'Europe continentale, en supposant que le soulèvement fût en quelque sorte local et que son effet se perdît à différentes distances dans toutes les directions; mais une grande partie des eaux n'en coulerait pas moins vers l'Ouest, et les cours d'eau qui s'établiraient sur la surface soulevée elle-même seraient assez considérables. Plusieurs des bassins dont nous avons parlé plus haut seraient traversés par des cours d'eau cherchant à se rendre à la mer, et par l'arrivée constante de cette eau douce, l'eau des bassins deviendrait de moins en moins salée; car une portion du sel serait constamment entraînée à la mer dès que le trop-plein de ces bassins parviendrait à se déverser par-dessus la partie la moins élevée de leur bord. Quelques-uns de ces bassins deviendraient des lacs d'eau douce, et finiraient par conséquent par être habités par les animaux d'eau douce qui y seraient amenés par les rivières; car le changement de niveau que nous avons supposé, ne serait pas très-nuisible aux animaux terrestres et d'eau douce. Ils pourraient bien avoir à transporter leurs habitations à des niveaux comparativement inférieurs, mais il ne s'ensuivrait aucune destruction d'espèces; ils seraient libres d'aller coloniser la surface nouvellement mise à sec, et toutes les analogies nous portent naturellement à présumer que leurs débris pourraient être ensevelis dans les nouveaux dépôts lacustres.

Il est assez curieux de rechercher les caractères zoologiques que présenteraient les assises de sable et de vase qui se trouveraient mises à sec. Les données des diverses cartes des sondes indiquent que la nouvelle surface du sol serait variable dans ses caractères minéralogiques, mais qu'elle serait surtout arénacée. Or, comme parmi les animaux marins les uns préfèrent un fond d'une certaine nature, d'autres un fond de nature diverse, les zones de la vie sous-marine, si nous pouvons nous exprimer ainsi, ne devraient pas seulement correspondre avec les zones d'égales pressions, températures et autres circonstances, mais cette vie sous-marine différerait encore suivant la nature du fond dans chaque zone. On aurait ainsi une surface sur l'étendue de laquelle ont été ensevelis des animaux contemporains, et dont les fossiles différeraient d'un point à un autre suivant les différences de profondeur et de température, et suivant la nature du fond. Les nouveaux lacs contiendraient des débris d'animaux et végétaux terrestres, fluviatiles et lacustres, et

l'on finirait par avoir des couches caractérisées par ces débris reposant sur des couches à fossiles marins, et çà et là quelques assises intermédiaires contenant des débris organiques provenant d'eaux saumâtres, c'est-à-dire un mélange d'animaux marins et d'eau douce qui auront pu jusqu'à un certain point s'adapter au nouveau milieu dans lequel ils se trouvaient transportés, avant que les animaux marins eussent entièrement disparu pour laisser la place exclusivement aux animaux d'eau douce.

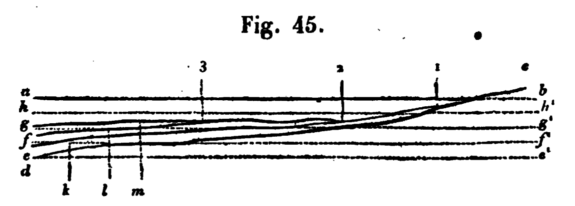
Nous avons fait remarquer que les fonds où l'on est sur la sonde autour de la Grande-Bretagne sont bornés vers l'océan par une ligne suivant laquelle la grande plaine sous-marine se termine d'une manière presque abrupte [1], la ligne des 200 brasses se trouvant à une distance relativement peu considérable en dehors de celle de 100 brasses. Or, si le changement de niveau était tel que la nouvelle côte s'élevât tant soit peu brusquement, ne fût-ce que de quelques pieds, au-dessus du niveau de l'océan, les brisants entameraient bientôt et feraient reculer cette côte, donnant lieu à des falaises qui, quoique peu élevées d'abord, le deviendraient davantage à mesure que les envahissements de la mer s'avanceraient vers l'intérieur du continent. Si, au contraire, la nouvelle côte, au lieu de s'élever d'une manière abrupte, se prolongeait sous la mer en une plage peu inclinée, l'action de l'eau donnerait lieu à des amoncellements de sable ou à des dunes semblables à celles des basses terres de l'Europe occidentale, depuis le nord de la France jusqu'au Danemarck, ou à celles qui séparent les sables des Landes de la baie de Biscaye. Derrière ces dunes il se formerait des étangs pareils à ceux qu'on trouve aujourd'hui dans des positions analogues, et dans ces étangs il se formerait des dépôts d'une nature analogue, et avec des fossiles analogues à ce qui a lieu de nos jours.

Il est évident que les effets généraux de destruction d'espèces, produits par un soulèvement du fond des mers, seront d'autant moins considérables que le changement de niveau s'opérera à plus petits coups; en sorte que, si le soulèvement total résultait d'une action n'ayant pas une énergie plus grande que celle qui se manifeste de nos jours dans le golfe de Bothnie, il pourrait n'y avoir aucune destruction d'espèces; car les animaux vivant sur les bas-fonds se retireraient graduellement avec les eaux, de façon qu'il y aurait une migration générale des animaux marins vers la haute mer, chaque espèce en particulier conservant les mêmes positions relatives en ce qui concerne la pression de l'eau, la température

[1] Voyez la note à la page 136.

et les autres conditions d'existence. Les résultats géologiques de ce mouvement seraient pourtant fort remarquables, et pour s'en convaincre, que l'on suppose que le retrait de la mer se soit ainsi continué progressivement jusqu'à la limite des sondes, de sorte que la ligne des cent brasses forme les côtes de la nouvelle mer. La surface soulevée serait recouverte sur des étendues très-considérables, par des débris d'espèces littorales semblables, laissés au fond de la mer et enveloppés par les dépôts formés au fur et à mesure du retrait des eaux. Ces dépôts ne seraient évidemment point contemporains, mais ils n'en seraient pas moins caractérisés par des débris organiques semblables. Ils reposeraient sur d'autres dépôts, ayant la même origine, qui seraient caractérisés par des fossiles identiques entre eux, mais différents des premiers, puisqu'ils appartiendraient à des animaux ayant vécu dans des mers plus profondes.

Fig. 45.



Supposons que dans la figure 45 (dans laquelle les dimensions du livre nous obligent malgré nous à exagérer de beaucoup l'échelle des dimensions verticales) *ab* représente le niveau de la mer; *c* la partie du sol qui s'élève au-dessus, et *cd* le fond de la mer sur lequel se sont accumulés des détritus ou autres substances. Supposons encore que, par suite des phénomènes naturels ordinaires, ce dépôt ait donné lieu à une couche parallèle à la surface *cd*, qui s'étend depuis 1 jusques et au delà du point *d*. Les animaux qui habitaient le fond de la mer, et dont les dépouilles sont dans un état de conservation tel qu'on ne peut douter qu'ils ont vécu sur place et qu'ils ont été ensevelis dans les sables ou la vase même qui leur servait de demeure, différeraient généralement entre eux suivant la profondeur à laquelle ils se trouvent. Ils pourraient se partager en zones suivant les diverses lignes de niveau *hh'*, *gg'*, *ff'*, *ee'*; en sorte que les fossiles du point *d* seraient différents de ceux plus voisins de la côte *c*, quoique compris dans une couche dont toutes les parties sont contemporaines.

Maintenant, si la mer se retire lentement de 1 à 2 de manière que les espèces ne soient point détruites, mais qu'elles puissent

changer successivement leurs demeures en suivant la mer dans son retrait, il en résultera aux diverses profondeurs un mouvement général des animaux marins, cherchant à se maintenir toujours dans des conditions pareilles à celles dans lesquelles ils se trouvaient antérieurement au changement de niveau relatif, sous le rapport de la pression et de toutes les autres circonstances. En conséquence le fond de la mer entre 2 et 3 serait habité, après l'exhaussement, par les espèces qui vivaient d'abord entre 1 et 2, sur la partie du fond de la mer qui se trouve convertie en terre ferme; et les débris organiques ensevelis à cette nouvelle époque entre 2 et 3 seraient semblables à ceux de la couche plus ancienne entre 1 et 2. La même chose arriverait lorsque la partie du fond de la mer comprise entre 2 et 3 serait mise à sec, et ainsi de suite, les animaux littoraux se transportant toujours de plus en plus loin de l'ancienne côte *c*. On finirait ainsi par avoir une série de couches *k*, *l*, *m*, qui ne seraient point contemporaines, malgré qu'elles contiennent les mêmes fossiles aux mêmes niveaux. Malheureusement il a tellement fallu exagérer les proportions de la figure 45, afin de la rendre tant soit peu intelligible, qu'il est difficile d'y reconnaître la presque horizontalité des couches, et la petitesse extrême des angles sous lesquels les lignes d'égale profondeur coupent les plans de ces couches. Si nous considérons le fond de cette mer sous le rapport zoologique, il est facile de concevoir que les animaux qui y vivent diffèrent suivant la température, la hauteur de l'eau et la nature locale du fond, et que l'influence des deux premières de ces circonstances tend à partager la vie animale en zones diverses. Mais lorsque l'on examine l'angle que la surface générale du fond de la mer fait avec l'horizon, il devient fort difficile de faire comprendre la petitesse de cet angle aux personnes qui sont habituées à s'exagérer la profondeur de la mer. Cet angle n'est probablement pas plus grand que celui que font, avec la surface de l'eau, les plages les moins inclinées, celles que la mer laisse à sec sur de grandes étendues à la marée basse; peut-être même le fond général de la mer est-il moins incliné encore. Il est nécessaire de rappeler cette circonstance, autrement on pourrait supposer que les couches représentées dans la figure 45 devraient offrir des changements si évidents dans leurs fossiles, que personne ne pourrait se refuser à reconnaître une différence des fossiles dans des dépôts contemporains, et par conséquent à admettre que les fossiles identiques ne sont point caractéristiques d'un seul dépôt et d'une seule époque. Mais on se fera une idée de la facilité avec laquelle on peut se tromper sur ces deux points, si l'on prend en considération la

petitesse des angles que fait réellement le fond de la mer avec l'horizon.[1]

Il est évident que si, au lieu du changement de niveau que nous avons supposé mettre à sec une étendue considérable du fond de la mer, il s'était fait sur cette même étendue un abaissement de cent brasses, de sorte que la ligne des cent brasses se trouvât recouverte de deux cents brasses d'eau, et ainsi de suite pour tout le fond de la mer, on aurait des effets inverses des précédents. Nous avions supposé d'abord que le soulèvement était le plus grand sous les îles Britanniques; nous supposerons de même que l'abaissement soit plus profond sur le même point, et qu'il diminue à mesure qu'on s'écartera de ces îles comme centre. Si l'abaissement se faisait avec lenteur, on ne voit pas de raison pour qu'il y eût des espèces détruites, car elles pourraient facilement se transporter au niveau qui leur est convenable. Une grande partie des îles Britanniques serait submergée, ainsi qu'une étendue considérable de l'Europe occidentale, en supposant même que la dépression de la surface ne se terminât point par un amincissement presque insensible. Il s'ensuivrait nécessairement de grands changements physiques, surtout par l'action des vagues et des marées sur les parties du sol actuel qui s'élèveraient à la surface de l'eau en formant des îles nombreuses. Des dépôts de détritus tendraient à combler les dépressions, et il se produirait en conséquence de grands enfouissements de débris animaux et végétaux.

Dans ces circonstances un grand nombre de dépôts fluviatiles, lacustres et d'embouchure, se trouveraient recouverts par des formations marines, et le passage entre ces dépôts se ferait plus ou moins brusquement, suivant que le changement de niveau aurait été plus ou moins rapide; dans le cas d'un abaissement progressif, il pourrait souvent y avoir transition entre les animaux d'eau douce et les marins; dans le cas contraire le changement d'un dépôt à l'autre se ferait d'une manière presque tranchée. Il y aurait au fond de la mer, antérieur au soulèvement, un mouvement général des animaux marins, qui s'approcheraient des nouvelles côtes pour y chercher les conditions nécessaires à leur existence, et de cette manière les restes des animaux vivant dans les eaux profondes se trouveraient recouvrir ceux des animaux habitant de moindres profondeurs, qui avaient été déposés lorsque les eaux étaient moins profondes.

[1] L'auteur a négligé expressément toute considération relative à la courbure que présenterait la partie du fond de la mer dont on s'est occupé ici, comme portion de la surface d'une sphère ou d'un sphéroïde; ce n'aurait été que rendre le sujet encore plus obscur pour la généralité des lecteurs.

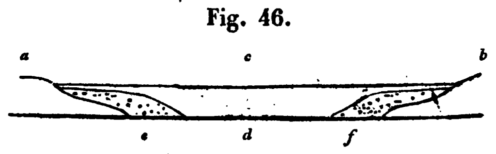
Les animaux marins ne seraient point affectés par ce changement de niveau ; mais il en serait autrement des espèces terrestres animales et végétales, et dans quelques cas aussi des espèces vivant dans les eaux douces. La zone inférieure de la végétation de l'ancienne côte serait ensevelie en quelque sorte dans les couches qui se formeraient le long du nouveau rivage, à moins que les vagues, les marées et les courants n'eussent tout enlevé lors de l'enfoncement des terres. Si les eaux s'étaient élevées rapidement, la végétation des zones inférieures serait détruite en grande partie ; mais les graines seraient probablement rejetées sur le rivage, en sorte que les côtes des nouvelles îles présenteraient une végétation approchant beaucoup de celle qu'on trouve aujourd'hui sur les côtes des îles Britanniques. Cependant, comme ces îles auraient 600 pieds de moins d'élévation, on devrait s'attendre à quelque différence dans la végétation des régions élevées, surtout d'après le changement de climat qui aurait lieu dans toute l'Europe occidentale, par suite de la variation dans l'étendue relative des terres et de la mer, et dans la hauteur des terres au-dessus du niveau de l'océan. Les animaux terrestres auraient aussi à s'adapter aux nouvelles circonstances dans lesquelles ils se trouveraient placés ; une grande partie d'entre eux seraient nécessairement détruits, sans qu'il y eût pourtant un grand nombre d'espèces perdues. Comme les parties plus basses du sol des îles Britanniques sont occupées principalement par des marécages qui seraient les premiers envahis par la mer, les animaux qui vivent dans ces marais auraient à changer leur station pour se mettre à l'abri non-seulement de l'inondation marine, mais encore des animaux voraces qu'apporterait cette inondation. Ils trouveraient difficilement des stations qui leur fussent convenables, à moins que l'abaissement du sol ne fût si lent que de nouveaux marécages pussent se former au fur et à mesure ; ce qui est peu probable, vu la lenteur avec laquelle les marécages actuels paraissent se propager dans les circonstances les plus favorables. En tout cas la surface des terres serait de beaucoup diminuée, et la même quantité d'animaux ne pourrait y trouver la place nécessaire ; il y aurait lutte d'espèces contre espèces (abstraction faite du pouvoir de l'homme, car dans cet état de choses imaginaire, nous voulons retracer ce qui a pu se passer lors d'événements géologiques antérieurs à son existence) ; l'espèce la plus faible devrait céder, et il pourrait y avoir ainsi extermination de quelques espèces à la surface des nouvelles îles.

Nous avons longuement insisté sur les conséquences qui suivraient certains changements de niveau relatif entre la terre et la mer dans les régions indiquées, parce que ces conséquences peuvent

nous aider dans l'explication de plusieurs phénomènes géologiques, surtout en ce qui concerne les terrains fossilifères. Nous observons dans ces terrains des changements tantôt tranchés, tantôt extrêmement graduels dans les caractères zoologiques ou botaniques des couches; et ces changements ne sont souvent accompagnés d'aucun signe de passage violent des eaux au-dessus des couches inférieures. Sans doute il existe plusieurs localités dans lesquelles on reconnaît que la surface des couches inférieures a été fortement ravinée avant le dépôt des supérieures; mais on voit très-souvent aussi des changements complets ou presque complets dans la nature des débris organiques, sans qu'il y ait aucune trace d'une dénudation des couches inférieures avant le dépôt de celles qui les recouvrent.

On sait que certaines espèces de coquilles sont communes aux côtes de l'Europe occidentale et de l'Amérique orientale, d'où il suivrait que les dépôts qui se forment actuellement sur les côtes opposées de l'océan Atlantique peuvent contenir quelques espèces identiques de fossiles. Dans ce cas on aurait des dépôts contemporains qui, quoique fort éloignés, présenteraient quelques fossiles communs. Ces dépôts ne sont évidemment point contigus; ils ne font simplement qu'une partie de la bordure que forment les fonds où l'on est sur la sonde le long des côtes des deux continents; car les deux rivages sont séparés par de grandes profondeurs d'eau, au fond desquelles les animaux des coquilles en question ne sauraient exister. Ce fait nous apprend qu'il peut exister dans deux localités différentes des circonstances égales sous le rapport de la pression de l'eau ambiante, de la température, de la lumière, de la nourriture et de l'air disséminé, en sorte que les œufs des animaux marins étant transportés par les agents naturels d'une de ces localités à l'autre, les dépôts qui s'y forment actuellement peuvent, quoique séparés l'un de l'autre, contenir quelques débris organiques d'espèces identiques. Les mêmes effets, à circonstances égales, auront plus facilement lieu à de plus petites distances; et moins la distance sera considérable, plus il y aura de probabilité que les deux dépôts aient des caractères zoologiques semblables. Soient *a*

Fig. 46.



et *b* (fig. 46) deux côtes opposées sous des climats égaux ou presque égaux, et *e*, *f* des couches ou accumulations de sables ou de vase

qui s'augmentent actuellement sous des conditions semblables et enveloppent les restes des mollusques qui vivent à leur surface. Si les œufs des mollusques peuvent être transportés à travers la mer *c* d'une côte à l'autre, il y aura une tendance à ce que les fossiles des dépôts qui se forment en *e* et en *f* soient de plus en plus identiques ; et cette tendance sera proportionnée, toutes choses égales d'ailleurs, à la proximité des deux côtes. La haute mer *d* s'oppose non-seulement à ce que les mollusques s'avancent le long du fond de la mer entre *e* et *f*, mais encore elle arrête le transport même des détritus, et l'on a des dépôts qui sont évidemment du même âge, caractérisés par des débris organiques semblables, sans avoir jamais été contigus l'un à l'autre ; circonstance qu'il importe de ne point oublier, lorsqu'on est tenté de présumer que des couches aujourd'hui séparées ont été continues jadis, seulement parce que les caractères zoologiques et botaniques de ces couches sont semblables.

Nous avons fait voir déjà comment, dans la supposition d'un soulèvement de 600 pieds du fond de la mer qui entoure les îles Britanniques, on pourrait avoir, si le soulèvement se faisait d'une manière lente et progressive, des dépôts d'âge divers caractérisés par des débris organiques semblables. Nous allons maintenant considérer la chose sous un autre point de vue. Supposons deux côtes situées relativement l'une à l'autre comme dans la figure 46 et se trouvant sous les mêmes conditions, mais que l'une de ces côtes soit sujette à des oscillations qui la soulèveraient ou l'abaisseraient relativement au niveau de la mer, tandis que l'autre serait immobile ; on aura alors sur chacune de ces côtes des résultats tout différents l'un de l'autre. L'un des dépôts contiendra des fossiles exclusivement marins, tandis que le dépôt contemporain de la côte opposée pourra présenter une grande variété non-seulement dans la nature des fossiles, mais encore dans la composition minéralogique des couches qui les contiennent. Il pourrait arriver aussi qu'une espèce se trouvât détruite sur l'une des côtes, tandis qu'elle continuerait à exister sur l'autre. On aurait donc là peu ou point de ressemblance entre les fossiles de couches contemporaines, quoique, s'il n'y avait point eu d'oscillations du sol sur un point, tandis que la côte opposée restait immobile, les conditions de température, de pression d'eau, de lumière, de nourriture, et la facilité de se procurer de l'air, eussent été telles que les fossiles des deux localités auraient dû jusqu'à un certain point être semblables.

CHAPITRE XIII.

Nous nous sommes occupé jusqu'ici de ceux des animaux marins qui vivent à des profondeurs déterminées, qui ne sont presque que des bas-fonds relativement aux grandes profondeurs de l'océan. La vie pullule à la surface des hautes mers, et les eaux sont probablement tout aussi peuplées jusqu'aux profondeurs auxquelles la vie cesse, faute des conditions de son existence. Des poissons, des crustacés, des mollusques existent dans les hautes mers, et leur destruction mutuelle offre à chacun d'eux une nourriture abondante. Ces animaux doivent, pour se soutenir sans effort, être dans un état d'équilibre avec l'eau ambiante. La plupart d'entre eux, tous peut-être, ont probablement le moyen de changer, jusqu'à un certain point, leur pesanteur spécifique, ce qui leur permet de monter et de descendre entre certaines limites. Rien n'est plus curieux que de voir, dans les calmes, la surface de l'océan se peupler subitement d'animaux de différentes espèces qui doivent être sortis des eaux dans lesquelles ils se tenaient cachés jusqu'à ce que les circonstances leur permissent de venir flotter librement à la surface. Il existe sans doute une limite à la capacité qu'ont ces êtres d'augmenter ou de diminuer leur pesanteur spécifique ; en sorte que nous pouvons aisément concevoir au-dessous de la surface de la mer une couche d'eau d'une épaisseur donnée remplie d'animaux marins, qui deviendraient pourtant de moins en moins abondants à mesure qu'on s'éloigne de la surface, ou, en d'autres mots, à mesure que les circonstances deviennent moins favorables à leur existence.

Nous n'avons point encore de bons moyens de reconnaître la profondeur au delà de laquelle la vie cesse d'exister dans l'océan ; mais il ne saurait y avoir de doute, quant à l'existence d'une limite au-dessous de laquelle rien d'analogue aux êtres organisés que nous connaissons ne saurait vivre. Or, quoique l'existence de ces animaux tienne probablement à un système général de voracité, chacun d'eux étant pourvu des moyens les plus propres à saisir sa proie, il est pourtant difficile de concevoir que la destruction qui s'ensuit soit si complète que quelques animaux ne puissent échapper de

temps en temps et mourir de leur mort naturelle. Un animal mourant ainsi n'aurait encore que bien peu de chances de ne point être dévoré; car, au moment de sa mort, il était ou n'était pas en équilibre avec l'eau ambiante. S'il se trouvait à une hauteur qui exigeait de sa part un effort musculaire, la mort mettant fin à cet effort, l'animal s'élèvera ou s'abaissera comme tout corps inorganique, et prendra la place convenable à sa pesanteur spécifique. Il ne tomberait jusqu'au fond de l'océan que dans le cas où il serait spécifiquement plus pesant que l'eau de la mer.

Plusieurs des animaux qui vivent dans les hautes mers ont quelques parties de leur corps qui sont d'une pesanteur spécifique beaucoup plus grande que celle de l'eau de la mer; mais l'ensemble de leur corps est en général de la même densité que l'eau de la mer à de petites profondeurs; et ce paraît être là une condition requise dans leur habitation. Lors donc qu'un animal marin vient à mourir, il restera probablement suspendu dans l'eau à un niveau peu différent de celui auquel il a cessé de vivre, à moins que les gaz contenus dans sa vessie natatoire ne se dilatassent considérablement par suite du manque de la compression musculaire. L'un des effets de la décomposition des chairs, sera de donner des produits gazeux, et la pesanteur spécifique du corps de l'animal étant ainsi diminuée, il s'élèvera vers la surface de l'eau. Mais on peut bien penser que les animaux de proie, qui paraissent être si abondants dans la mer, ne resteront point oisifs; en sorte qu'il y a grande probabilité que le corps sera bientôt dévoré, eût-il même atteint l'état putride. Suivant les espèces d'animaux qui le dévoreront, il y aura plus ou moins de chances que les parties solides, que la coquille entière surtout, tombent au fond de la mer. Si, par exemple, le corps d'un nautile était attaqué par de petits crustacés, il s'enfoncerait peu à peu, à mesure que ces animaux dévoreraient les parties qui le rendaient aussi léger que l'eau ambiante; la coquille du nautile tomberait enfin au fond, car, suivant toute probabilité, aucune partie des eaux de la mer n'atteint la densité de 2,64, qui serait celle de cette coquille, à en juger au moins par la pesanteur spécifique du *N. umbilicatus*[1]. Si le nautile mort venait à être broyé sous les mâchoires ou le palais d'un grand poisson, ses parties solides n'auraient aucune chance d'arriver au fond de la mer avant d'avoir traversé le corps du poisson.

Les matières solides, telles que les coquilles ou fragments de coquilles, qui parviendraient à se déposer au fond de la haute

[1] Voyez les pesanteurs spécifiques de diverses coquilles, p. 52.

mer, s'y trouveraient, tout considéré, dans des circonstances différentes de celles qui se présentent au fond des mers moins profondes. Dans ce dernier cas, une multitude de coquilles peu épaisses et très-délicates peuvent se conserver intactes, surtout dans la vase et les sables qu'elles habitent plus particulièrement. Lorsqu'un mollusque à coquille délicate vient à mourir dans le sable ou la vase, il s'y trouve tout enseveli, et la forme de sa coquille est telle qu'elle peut résister à une pression modérée assez longtemps pour qu'une infiltration de matière étrangère vienne remplir le vide laissé par le corps de l'animal, et remplacer avantageusement la résistance qu'offrait originairement le corps du mollusque.

Lorsqu'on examine avec attention la manière dont se rencontrent les débris organiques des animaux, on voit que, malgré la différence notable entre leur degré de conservation, un grand nombre de ces animaux doivent avoir été ensevelis intacts et plusieurs même vivants, ou du moins antérieurement à toute décomposition de leurs parties molles. On trouve quelquefois dans le lias des squelettes d'*Ichthyosaurus* et de *Plesiosaurus* portant encore des traces de leur peau et ayant entre les côtes, là où devait être l'estomac de l'animal, des restes d'aliments non digérés; ce qui paraît mettre hors de doute que ces animaux étaient encore dans un état parfait de conservation lorsqu'ils ont été ensevelis dans la vase, souvent calcaire, qui a formé les couches actuelles du lias. Les coquilles sont fréquemment distribuées dans les couches en groupes tels absolument que ceux qu'elles forment au fond de la mer, et leurs parties les plus délicates sont souvent si parfaites, qu'on dirait qu'elles ont été à peine recouvertes par la matière qui s'est accumulée au-dessus. D'autres fois des couches entières sont composées de coquilles brisées, qui ont dû être exposées à une action assez violente pour les broyer avant qu'elles fussent déposées en forme de couches. La sonde rapporte si souvent, du fond de la mer, de petites masses de coquilles brisées, qu'on ne peut guère révoquer en doute qu'il n'y existe des lits de ces fragments de coquilles, qui n'auraient qu'à être recouverts de sable, de vase ou d'une matière calcaire, et ensuite soulevés au-dessus du niveau de la mer, pour présenter un ensemble de couches pareil absolument à ce qui s'observe dans plusieurs terrains.

On peut penser avec vraisemblance que la grande masse des débris organiques et les accumulations de détritus qui les renferment, ont été déposés à de petites profondeurs autour des côtes, dans le voisinage de bas-fonds recouverts d'une petite quantité d'eau. Il est évident qu'on ne peut s'attendre à trouver que dans le voisi-

nage des anciennes côtes, les restes de sauriens et autres amphibies, et ceux des animaux terrestres. Nous avons eu occasion de faire remarquer ailleurs[1] que ces derniers débris auraient difficilement pu échapper dans la mer à la voracité d'animaux grands et petits tout prêts à les dévorer. La structure de la plus grande partie des sauriens fossiles paraît indiquer qu'ils ont dû vivre à la proximité des côtes et en partie sur les côtes mêmes. Nous ne pouvons savoir au juste jusqu'à quel point les *Ichthyosaurus* pouvaient tenir la haute mer, mais leur structure paraît tout aussi adaptée à ce but que celle des marsouins.

On a coutume de dire que des couches se sont déposées dans l'eau douce, dans des embouchures, ou dans la mer, d'après les fossiles qu'elles contiennent, et que l'on peut considérer comme ayant des formes analogues à celles d'animaux qui vivent aujourd'hui dans des positions correspondantes, ou bien à celles d'animaux terrestres qui auraient pu être charriés jusqu'aux divers dépôts. C'est là, sans doute, admettre que dès la première existence de la vie animale et végétale, des formes particulières ont été constamment assignées aux mêmes habitations, et que les formes des végétaux ou animaux qui n'ont plus leurs analogues vivants, sont telles à autoriser le classement des débris organiques comme marins, d'eau douce ou terrestres. En général, les inductions que l'on a tirées de l'analogie des formes pour fixer l'habitation probable des animaux et végétaux dont les débris sont ensevelis dans les couches terrestres, paraissent si bien fondées, que nous sommes peu disposé à les révoquer en doute. Tous les faits généraux les plus importants ayant rapport à l'habitation des anciens animaux, ont été expliqués d'une manière satisfaisante; mais il paraît nécessaire de procéder avec quelque précaution, quant aux faits de détail. Si, par exemple, on découvre parmi les fossiles d'une couche une volute ou une arche, on classera de suite cette couche comme de formation marine, parce que nous ne connaissons de coquilles de ce genre que marines, et cette conclusion sera exacte dans le plus grand nombre de cas; cependant on pourrait se tromper encore, car la *Voluta magnifica* habite les eaux saumâtres du *Port Jackson* dans l'Australie[2], et on trouve une arche dans les eaux douces de la Jumna, près d'Hamirpur, à 1000 milles de distance de la mer[3]. Peut-être qu'en

[1] *Manuel géologique*, art. *Débris organiques du groupe oolitique.*

[2] D'après l'autorité de M. G. B. Sowerby.

[3] *Gleanings of science*, vol. 1.er, p. 265; Calcutta, 1829. D'après l'autorité aussi de M. G. B. Sowerby, qui annonce de même qu'on trouve une Nucule dans le Gange à Banda.

examinant attentivement ces deux coquilles, on y découvrirait quelque modification de formes; mais un tel examen n'est pas toujours facile dans les coquilles fossiles, et l'on ne voit pas bien *à priori* à quel genre de modification on devrait s'attendre.

Il faut mûrement peser aussi les circonstances qui peuvent contraindre un animal à vivre sous des conditions autres que celles du genre et de l'espèce à laquelle il appartient. M. G. B. Sowerby m'apprend qu'on a trouvé, près des îles Melville, une astarté et une cardite (aucune des deux n'a encore reçu de nom spécifique), vivant dans les flaques d'eau à la surface de la glace, et par conséquent dans une eau qui, si elle n'est pas absolument douce, n'est certes pas fort salée; et ces deux genres sont pourtant regardés comme marins. Il est à remarquer que les individus des îles Melville ont les crochets usés, comme les ont, en général, les coquilles d'eau douce. Je dois au même conchyliologiste la connaissance de l'existence, dans les bassins des Indes occidentales (*West India Docks*) à Londres, et par conséquent dans une eau au moins saumâtre, de l'*Anodon anatinus*, qui vit communément dans l'eau douce. Il est bien reconnu qu'il vit là et s'y multiplie, puisqu'un individu a été trouvé portant des milliers d'œufs, ce qui prouve qu'il prospérait tout aussi bien dans ces bassins que dans l'eau la plus douce possible. Le même mollusque se retrouve aussi dans les bassins du Commerce (*Commercial Docks*), où il est accompagné du *Mytilus polymorphus*, animal vivant dans le Danube et le Wolga, et qui a été probablement importé à Londres, adhérant au fond de quelque bâtiment venant de la mer Noire.

Le docteur Macculloch a fait une série d'expériences qui lui ont prouvé que « le turbot, la sole, le carrelet, le surmulet, l'éperlan, « l'athérine, le saurel, le merlan, le loup (*Perca Labrax, L.*), le « boulereau noir, la mustèle, la chevrette, le crabe, et quelques « autres animaux marins, peuvent s'habituer sans difficulté à vivre « dans l'eau douce; tous ceux qui s'y trouvent depuis assez longtemps « s'y sont multipliés.[1] » Le même auteur appelle l'attention sur d'autres faits analogues; par exemple, que le cabillaud vit spontanément dans un lac d'eau douce des îles Shetland, et qu'on a découvert que le hareng habite constamment un autre lac d'eau douce. On sait depuis longtemps que des poissons d'eau douce, tels que les brochets et les cyprins, vivent de préférence dans les eaux salées de la mer Caspienne, tandis que les eaux du Wolga leur sont ouvertes. On a souvent remarqué aussi que le saumon et autres

[1] *System of Geology*, vol. 1.er, p. 330; 1831.

poissons ayant la même manière de vivre, peuvent facilement supporter le passage de l'eau salée à l'eau douce, et *vice versa*. Il paraît, par les essais qu'on a faits jusqu'ici pour faire vivre des animaux marins dans l'eau douce et des animaux d'eau douce dans l'eau de mer, que si on les tire de l'une de ces eaux pour les plonger brusquement dans l'autre, ils meurent; tandis que si le changement de l'eau se fait lentement, plusieurs de ces animaux peuvent le supporter sans en souffrir. Lorsque des lacs d'eau douce situés derrière des plages de galets ou de sable rejetés par la mer, viennent naturellement ou artificiellement à être mis en communication avec la mer, l'eau salée, d'après sa plus grande pesanteur spécifique, se précipite en masse au fond des lacs et détruit tout le poisson d'eau douce qu'elle rencontre. On a observé quelques faits remarquables de ce genre sur les côtes d'Angleterre. Si le changement d'eau s'était fait graduellement, il est probable que fort peu des animaux d'eau douce en auraient été détruits.

Il est encore une autre circonstance qu'on ne devrait point négliger. Il existe dans la mer plusieurs sources d'eau douce, qui sont plus ou moins abondantes, suivant les circonstances. Plusieurs de ces sources sont connues depuis longtemps, et celle du golfe de *la Spezia*, qui donne par seconde une quantité d'eau très-considérable, était célèbre déjà du temps de Pline. Elle s'élève avec une force considérable, de manière à produire une légère convexité à la surface de la mer, et ses eaux proviennent probablement d'un système de cavernes souterraines dans les calcaires voisins. Il doit y avoir une quantité de sources semblables dans les diverses parties du monde, que l'on ne peut connaître, parce que l'eau douce ne vient point à la surface avec une force suffisante. Il doit y avoir aussi des sources thermales sous la mer, tout aussi bien que sur la terre; car les forces qui poussent l'eau de ces sources, paraissent assez énergiques pour pouvoir vaincre la pression de la mer. En outre, s'il se trouve de l'eau douce quelque part sous les eaux de l'océan, elle doit tendre à s'élever par sa moindre pesanteur spécifique, sans tenir compte de sa température, qui, si l'eau était thermale, tendrait aussi à l'élever à la surface. De telles sources doivent influer sur la nature des animaux qui habitent leur voisinage. On peut citer à l'appui de ce que nous avançons, le fait suivant, quoiqu'il ne soit pas aussi évident qu'on pourrait le désirer. Des sources d'eau douce s'élèvent du fond de la mer sur un point des côtes de l'île de Java, non loin de Batavia. Or, la *Cyrena zeylanica,* que l'on regarde comme une coquille d'eau douce, est très-abondante sur cette côte, et il est à remarquer que les crochets en sont usés précisément

comme le sont si fréquemment ceux des coquilles d'eau douce[1]. Il n'est point prouvé que l'eau fût douce, ou à peu près, là où l'on pêchait ces coquilles; mais on peut présumer, avec grande probabilité, qu'elles vivaient parmi les sources d'eau douce. Ce serait une autre question que de savoir jusqu'à quel point quelques individus pourraient s'habituer à vivre d'abord dans l'eau saumâtre, puis dans celle de la mer, en sorte qu'on eût accidentellement deux races venant d'une même espèce, dont l'une serait marine et l'autre d'eau douce; mais, d'après ce qui a été dit plus haut sur des changements de milieu analogues, il n'est nullement impossible que quelques espèces puissent ainsi se modifier suivant les circonstances.

On ne peut admettre l'uniformité de l'organisation sur toute la surface du globe, sans que les conditions d'existence y soient partout les mêmes, ou à peu près. En conséquence, lorsque l'on suppose que des couches données sont caractérisées par des restes organiques semblables, on admet en même temps que les conditions générales de la matière aérienne, terrestre ou aqueuse, étaient identiques sur toute l'étendue sur laquelle ces couches se sont déposées et sur laquelle vivaient, avant le dépôt, les animaux et les végétaux dont elles contiennent les restes. Nous avons vu que la distribution de la vie animale et végétale est aujourd'hui extrêmement variée, même sous des conditions semblables de climat et autres circonstances qui en dépendent, en sorte que les dépôts fossilifères qui se forment aujourd'hui sur différents points de la surface terrestre, ne doivent point contenir de fossiles semblables.

Il nous reste à considérer maintenant quelles conditions pourraient produire une plus grande uniformité sous ce rapport, si tant est qu'une telle uniformité pût exister. Dans la supposition que notre planète est une masse de matière qui s'est refroidie graduellement par le rayonnement de sa chaleur initiale, on aurait dû avoir en premier lieu des climats indépendants en grande partie de la chaleur solaire, mais non de la lumière de cet astre. Lorsque la surface de la terre aura été assez refroidie pour permettre l'existence de la vie animale et végétale, nous pouvons conclure de la structure de l'organisation actuelle, que l'eau aura existé à l'état liquide.

Nous sommes conduits à supposer, d'après toutes les analogies, que l'eau ne pouvait être habitée tant qu'elle était à de hautes températures, et qu'il fallait au moins que la chaleur en fût très-modérée pour que la vie animale et végétale pût s'y développer. Or, la distribution d'un océan thermal sur les diverses parties du globe,

[1] D'après l'autorité de M. G. B. Sowerby, qui tenait ce fait de M. Hardy, employé à Madras.

aurait une grande influence sur les différents climats, et cette cause seule suffirait à égaliser en très-grande partie les températures des divers points de la surface terrestre. L'état humide de l'atmosphère, qui, dans ces circonstances, serait probablement chargée de vapeurs aqueuses, n'aurait que peu d'influence sur la vie sous-marine, excepté sous le rapport de la lumière; mais il en serait autrement de la vie terrestre, qui serait fortement affectée par cette humidité. Un des principaux effets de cette température presque uniforme de l'atmosphère à des hauteurs égales, sur tout le pourtour de notre planète, serait une tranquillité presque absolue de cette atmosphère, relativement à son état d'agitation actuel. Les régions équatoriales et polaires étant à la même température, ou à peu près, on n'aurait pas la grande cause de notre système actuel de vents. En un mot, tous les phénomènes atmosphériques dus aujourd'hui à la chaleur solaire, auraient dû passer inaperçus, pour ne devenir sensibles que lorsque le rayonnement de la chaleur terrestre aurait été assez avancé pour que l'atmosphère rentrât pour ainsi dire sous l'influence solaire.

Dans les circonstances que nous supposons ici, les eaux de l'océan devaient pourtant obéir aux lois qui les gouvernent aujourd'hui, et les molécules s'en disposer suivant léur pesanteur spécifique relative et, en conséquence, suivant leur température. Il devait certainement y avoir dans ces circonstances une grande uniformité de température; la seule variation un peu importante provenant de la différence de profondeur, l'eau la plus froide étant la plus basse; car on peut présumer facilement que la température des eaux sous ces conditions devait être supérieure à 4° 44 centigrades. Il pouvait y avoir des différences dans les animaux marins vivant à diverses profondeurs; mais tout tendait à rendre uniforme la distribution de la vie à un même niveau. Cependant, à mesure que la surface terrestre se refroidissait, cet état de choses a dû se modifier pour arriver finalement à ce qui se voit aujourd'hui. Si l'on admet que notre planète était douée d'abord d'une grande chaleur intérieure, dont la diminution graduelle, continuée pendant des périodes de temps d'une durée hors de tout rapport avec les bornes de nos idées habituelles, a permis à la surface de prendre son état actuel, et au soleil d'exercer son influence actuelle, on aura une série de conditions de cette surface, dont le premier terme sera très-favorable à une uniformité générale dans la distribution de l'organisation animale et végétale à la surface du globe, tandis que le dernier sera moins favorable à cette uniformité; les conditions des termes intermédiaires étant plus ou moins analogues à celles d'un des deux

extrêmes, suivant que ces termes en seront plus ou moins rapprochés. C'est une autre question que de savoir jusqu'à quel point cette uniformité a réellement existé dans l'hypothèse de la chaleur centrale, et la solution de cette question ne peut guère se chercher que dans l'observation des faits; mais nous pouvons penser *à priori*, par analogie avec la distribution de l'organisation actuelle, que, puisque les mêmes conditions d'existence n'offrent pas aujourd'hui de toute nécessité des êtres organisés semblables, les mêmes variations pouvaient aussi bien avoir lieu lorsque la surface terrestre n'avait pas encore atteint son état actuel. Cependant l'uniformité de distribution de la vie animale et végétale a pu être beaucoup plus grande dans les anciennes époques qu'elle ne l'est à présent, puisque l'état des choses était alors beaucoup plus favorable à une telle uniformité.

Les débris organiques se présentent dans les couches à divers degrés de minéralisation, et plus ou moins convertis en diverses substances inorganiques. Certains fossiles sont à peine altérés; dans d'autres, la substance organique a entièrement disparu, en sorte qu'on n'a plus la moindre parcelle du corps primitif, mais une substance minérale ayant absolument la même forme. Il est évident que cette différence dans l'état des fossiles provient de la différence des conditions de temps et de situation, dans lesquelles ces corps se sont trouvés placés depuis qu'ils ont été ensevelis dans les couches qui les contiennent.

Toutes les coquilles terrestres, d'eau douce ou marines, sont composées de carbonate de chaux mêlé avec de la matière animale, qui ne se trouve en quantité un peu considérable que dans un petit nombre d'espèces. La partie solide des crustacés consiste en carbonate de chaux avec une petite quantité de phosphate de chaux et de matière animale. Les os des poissons sont formés de divers sels minéraux et de matière animale; celle-ci est dominante dans les poissons cartilagineux. Les os des mammifères sont composés principalement de phosphate de chaux, de matière animale et de carbonate de chaux; les autres substances, telles que le phosphate de magnésie, le fluate de chaux, le muriate de soude, etc., ne s'y trouvent que dans de très-petites proportions. L'émail des dents contient une beaucoup plus grande proportion de phosphate de chaux et une moindre quantité de carbonate de chaux que les os. Puisque les corps que nous venons d'énumérer ne présentent pas la même composition, il est naturel de penser que, se trouvant placés dans les mêmes conditions relativement à une ou plusieurs substances données qui tendent à agir sur eux, ils ne conserveront pas tous

au même degré leur composition primitive. Si, par exemple, tous ces corps se trouvaient enfouis dans un grès siliceux, et qu'il s'y infiltrât de l'eau tellement chargée d'acide carbonique qu'elle pût dissoudre et entraîner le carbonate de chaux, il pourrait se faire que les coquilles fussent entièrement dissoutes, ne laissant que leurs moules, tandis que les ossements, et surtout l'émail des dents, ne seraient que faiblement attaqués.

Nous avons déjà fait voir combien les matières en solution s'infiltrent facilement dans les roches, mais nulle part la chose n'est plus sensible que dans les divers états des restes organiques. On trouve fréquemment des formes de coquilles que toutes les analogies nous indiquent avoir été jadis composées de carbonate de chaux, converties maintenant en silice ou en sulfure de fer. Il est impossible de supposer pour un seul instant que les animaux qui ont produit ces coquilles, sécrétassent du sulfure de fer ou de la silice pure, tout comme les mollusques sécrètent aujourd'hui du carbonate de chaux. On a donc le droit de conclure qu'il y a eu là une substitution de la silice ou du sulfure de fer à la place du carbonate de chaux, dont la coquille a été d'abord composée. Que si l'on cherche dans quelles circonstances chacune de ces substances a remplacé le carbonate de chaux, on trouve que la silice joue surtout ce rôle dans les couches siliceuses, et le sulfure de fer dans celles où des pyrites de fer se trouvent disséminées avec abondance. On arrive par là à un certain rapport de cause et d'effet. Il s'ensuivrait que plus une couche est poreuse, plus il y aura de facilité, toutes choses égales d'ailleurs, pour ces substitutions de substance; et réciproquement, moins la roche sera perméable à l'eau, moins il y aura de probabilité d'altération des fossiles. On doit donc s'attendre à ce que les restes organiques auront subi plus de changements dans les grès siliceux poreux que dans des argiles compactes; et c'est là, en effet, ce qui a lieu.

Il est encore plusieurs autres circonstances dont il faut nécessairement tenir compte. Le temps est un élément essentiel qu'on ne peut négliger; des effets inappréciables dans de courtes périodes, deviennent importants après une série de siècles. Il s'ensuit que, toutes choses égales d'ailleurs, les plus grands changements possibles devront se trouver dans les dépôts fossilifères plus anciens. En outre, les conditions sous lesquelles existe un dépôt déterminé, peuvent différer suivant les états qu'a subis cette partie de la surface terrestre où on le trouve; il peut avoir été recouvert d'abord par une roche quelconque, puis par une roche différente, après que la première aura été enlevée par divers agents de dénudation. De

tels effets peuvent se voir dans tout pays dans lequel des terrains récents ont recouvert des dépôts anciens, et où le tout a été ensuite tellement dégradé que l'on n'a plus que des lambeaux détachés des couches récentes, reposant çà et là sur les plus anciennes. Prenons pour exemple le lias ou l'oolite inférieure d'une partie du Dorsetshire. Ces couches ont été recouvertes, après leur formation, par de grandes masses de grès vert, de craie, d'argile plastique et peut-être de plusieurs autres dépôts supracrétacés, toutes ces formations étant en stratification transgressive l'une au-dessus de l'autre. Une grande partie de ces roches a été enlevée plus tard, et le lias et l'oolite inférieure sont à découvert sur des étendues considérables.

Il est évident que l'eau qui s'est infiltrée jusque dans l'oolite inférieure ou le lias pendant les divers stades mentionnés ci-dessus, a pu tenir en solution dans chaque cas des substances différentes, et les effets qui en résultaient ont pu varier en proportion. Aujourd'hui les effets de l'infiltration doivent être tout autres là où l'eau traverse d'abord la craie et le grès vert qui existent encore au sommet des collines, que sur les points où l'eau des pluies tombe immédiatement sur l'oolite inférieure ou le lias. On pourrait croire d'abord que le lias est très-difficilement perméable à l'eau; et, en effet, les couches du lias et celles de tous les autres terrains analogues s'opposent, jusqu'à un certain point, à sa filtration; mais il n'en est pas moins certain que l'eau pénètre ces couches, quoique moins rapidement que celles dont la roche est plus poreuse; et l'on peut aisément se convaincre que l'eau est disséminée en grande quantité dans les marnes du lias, si on en pèse, au sortir de la carrière, un fragment pris à une certaine profondeur, et qu'on le pèse de nouveau après qu'on l'aura fortement chauffé pour en chasser, autant que possible, l'humidité.

La dissolution des matières minérales par l'infiltration de l'eau qui traverse les roches, est bien prouvée par la composition chimique de l'eau des sources, qui provient évidemment de cette infiltration; eau que personne ne regarde, certes, comme exempte de matières étrangères, et qu'un chimiste n'emploiera jamais comme pure. Les restes organiques sont exposés, comme toute autre partie des roches, à cette action de l'eau, dont les effets seront plus ou moins considérables suivant les circonstances. On doit supposer *à priori* que les coquilles qui se trouvent dans des couches calcaires doivent être le moins exposées à l'action des eaux, puisqu'elles sont entourées par une substance identique à celle dont elles sont elles-mêmes composées; et que si le carbonate de chaux de la coquille

est entraîné par l'infiltration de l'eau, le creux ou moule sera rempli de nouveau par du carbonate de chaux plus ou moins cristallin, suivant le temps nécessaire pour rendre l'infiltration complète. Il paraît, en effet, que c'est là ce qui se voit dans la nature.

On admet, en général, que le sulfure de fer est insoluble dans l'eau, et, par suite, que les fossiles que l'on trouve fréquemment convertis en pyrites dans les marnes et argiles, doivent cette substitution de matière à une autre action que celle de l'infiltration de l'eau. Il est pourtant bien difficile d'admettre que cette opinion soit juste, surtout si l'on a égard à la manière dont le sulfure de fer remplit les moules et les cavités laissés après la dissolution de la substance calcaire. Toutes les apparences sont tellement analogues à celles de l'infiltration de la silice que personne ne paraît révoquer en doute, qu'il est fort difficile de croire que les moules laissés par les coquilles n'ont pas été remplis dans les deux cas par l'infiltration de l'eau contenant en solution la matière qui est maintenant renfermée dans ces moules. Il ne s'ensuit nullement, de ce que le sulfure de fer ne paraît point être soluble dans les expériences de nos laboratoires, qu'il ne le soit point réellement en quantités tellement minimes qu'on ne puisse les apprécier qu'après un assez long laps de temps; ou qu'il n'y ait point dans les procédés naturels des circonstances favorables à une telle solution; circonstances qui ne peuvent point se rencontrer, ou que l'on n'est point parvenu à atteindre encore, dans les procédés artificiels.

Dans certains fossiles une partie du corps est composée d'une substance, et l'autre partie d'une substance différente. Dans les ammonites, par exemple, nous trouvons quelquefois les parois des chambres formées de sulfure de fer, tandis que les chambres mêmes sont remplies de carbonate ou de sulfate de chaux. Il se présente alors la question de savoir laquelle de ces substances a la première occupé sa place actuelle, et cette question est très-difficile à résoudre, car on ne sait combien il peut s'être opéré là de changements. Il paraît pourtant certain, dans le cas où la partie qui correspond exactement à la forme organique primitive est remplacée par une seule substance, qu'il n'y a jamais eu dans la roche une cavité complète correspondant au volume et à la forme de l'ammonite entière; mais que, suivant toute probabilité, les chambres étaient originairement vides, et qu'elles ont été remplies d'abord; tandis que les parois originaires des chambres ont été enlevées plus tard et remplacées par le sulfure de fer. Cette idée est appuyée par ce qui se voit lorsque les parois originaires ont été peu altérées et que les chambres ne sont remplies qu'en partie, la cavité restante étant

entourée de cristaux, ordinairement de carbonate de chaux, qui s'appuient contre les parois de la chambre; car il paraît alors qu'il aurait fallu que les chambres fussent complétement remplies d'une matière étrangère avant qu'aucune substance pût remplacer exactement les parois. Nous avons eu souvent occasion d'observer, lorsqu'on brisait les chambres d'une de ces coquilles, et qu'elles n'étaient remplies qu'en partie par des matières étrangères solides, que l'espace libre se trouvait occupé par de l'eau; cet état de choses devait être particulièrement favorable au développement des cristaux que ces cavités contiennent souvent.

Dans quelques cas fort rares, l'état actuel des fossiles prouve qu'il y a eu un changement dans la matière qui s'infiltrait dans une même cavité, tout comme cela se voit dans quelques agates. Après que le carbonate de chaux de la coquille a été enlevé en laissant son moule, il y a eu une infiltration de matière qui a tapissé en tout ou en très-grande partie les parois de la cavité; puis il y a eu un changement dans la matière qui s'infiltrait, et une nouvelle substance a achevé de remplir l'intérieur de la cavité. Cela se voit distinctement dans quelques-unes des gryphées des calcaires siliceux de Saint-Hospice, près Nice, dans lesquelles la partie extérieure a été remplacée par un mince enduit calcédonieux, tandis que la partie intérieure, plus épaisse, consiste en carbonate de chaux cristallisé.[1]

On observe, en général, que le phosphate de chaux contenu dans les os, est très-persistant, même dans des couches très-anciennes, et c'est absolument ce qui doit arriver, puisque le phosphate de chaux est si peu soluble. Aussi trouve-t-on rarement des os remplacés entièrement par de la silice, du carbonate de chaux cristallisé, du sulfure de fer, ou du sulfate de chaux, substances qui remplacent si souvent la matière des coquilles. Ces substances entrent souvent, à la vérité, dans la texture des os fossiles dont elles remplacent la partie animale, mais le phosphate de chaux y existe toujours. Ainsi nous voyons quelquefois des ossements fossiles fortement imprégnés de silice et de sulfure de fer, suivant les conditions auxquelles ils ont été soumis. La dernière de ces substances entre fréquemment dans la composition des ossements qui se rencontrent dans les argiles, surtout lorsque le sulfure de fer abonde dans la roche. Les restes de sauriens ainsi placés, contiennent souvent une grande quantité de pyrites de fer, mais la texture des ossements n'a point

[1] On pourrait croire que l'infiltration du carbonate de chaux serait fort difficile dans de telles circonstances; mais on voit dans quelques agates des faits semblables, quoique fort rares, et ils ne peuvent être expliqués que de la manière que nous avons adoptée ici pour les gryphées de Saint-Hospice.

disparu, et le sulfure n'a fait que remplacer la matière de l'os la plus soluble.

On trouve fréquemment dans quelques terrains des cavités qui ont été jadis occupées par des coquilles, et qui aujourd'hui n'en présentent plus que le *moule*[1]. Ces cavités se trouvent soit dans les couches calcaires, soit dans les siliceuses, et même dans quelques schistes argileux; mais elles sont rares dans les argiles et les marnes des terrains fossilifères plus récents. Elles sont surtout fréquentes dans les couches siliceuses. Il y a longtemps que M. Conybeare a signalé certains effets singuliers résultant de la disparition de la substance des coquilles dans les *cherts* du grès vert près de Lyme-Regis[2]. Les coquilles, avant d'être enfouies dans la roche, avaient été percées dans différents sens par des animaux parasites, comme cela se voit si souvent dans l'huître commune. Il s'en est suivi qu'après la formation de la couche, lorsque la silice se disposait en forme de lits de *cherts*, elle s'est infiltrée aussi dans les petites cavités laissées dans les coquilles par les animaux parasites, en sorte que, lorsque le carbonate de chaux est enlevé par accident, les formes rayonnées ou autres de ces petits passages et cellules se présentent comme des étoiles et de petits filaments de silice dans la cavité principale, occupée jadis par le calcaire de la coquille. C'est là un fait assez fréquent, surtout dans les *cherts*.

De toutes les substances qui ont remplacé ou enveloppé des matières organiques, la silice est celle qui présente les résultats les plus beaux et les plus instructifs. Elle s'est infiltrée quelquefois dans tous les petits pores du tissu organique, et l'on peut reconnaître ainsi la texture des végétaux, quelquefois même celle de certaines parties animales, avec une perfection que l'on pourrait difficilement atteindre par d'autres moyens. Quelques végétaux fossiles de l'île d'Antigoa sont particulièrement remarquables sous ce rapport. Dans quelques échantillons la silice paraît avoir arrêté la décomposition des frondes de palmiers (ou de quelque chose qui leur ressemble) non encore développées. Or, comme ces plantes d'Antigoa appartiennent à des espèces des climats chauds, il a fallu que cette

[1] Ces moules représentent pour la plupart si exactement l'extérieur des coquilles, qu'on peut en tirer des empreintes très-élégantes. On peut naturellement employer à cet objet plusieurs substances différentes; mais on s'en procure de très-belles, sans aucun embarras, en se servant de cire. Lorsque l'on songe à la facilité avec laquelle on peut avoir de ces empreintes, on a de la peine à comprendre pourquoi on n'en trouve pas en plus grande quantité dans les collections, où elles seraient souvent fort utiles.

[2] *Geological Transactions*, 1*st series*.

infiltration de la silice fût très-rapide pour en arrêter la décomposition; et le végétal doit être passé très-rapidement de l'état de vie à celui dans lequel il a reçu au moins un premier enduit siliceux qui l'a protégé contre toute décomposition ultérieure.[1]

L'état de conservation de têtes d'alcyons qui se trouvent dans les silex et les *cherts* de la formation crétacée, paraît aussi indiquer une filtration rapide de la silice. La texture de ces corps n'offre rien qui les mette en état de résister à une grande pression, et leur conservation est telle ordinairement, qu'elle autorise à croire qu'ils n'ont point été soumis à une forte pression dans les couches où on les trouve aujourd'hui avant d'avoir été minéralisés; car la texture originaire est souvent traduite aussi fidèlement par la silice que si cette substance s'était introduite brusquement dans une éponge, dont elle aurait rempli les moindres cavités sous une pression qui n'aurait pas été supérieure à celle de la mer ou de l'atmosphère.

Les personnes qui ont récolté des fossiles en place, dans les couches mêmes, ont pu reconnaître qu'ils sont bien plus souvent comprimés dans les marnes, les argiles et les schistes argileux, que dans les calcaires et les grès. C'est là, en effet, ce qui doit avoir lieu; car ces deux dernières roches, et surtout les calcaires, n'ont pu subir après leur premier dépôt qu'une compression très-faible, si on la compare à celle qu'ont dû éprouver, par le poids des couches supérieures plus récentes, les vases desquelles sont dérivés les argiles, les marnes et les schistes argileux fossilifères. Si l'on pense que toute roche d'une pesanteur spécifique égale à 2,6, et ayant 500 pieds d'épaisseur, exerce un poids de 577 livres environ sur chaque pouce carré, on conçoit aisément que les molécules de la vase seraient absolument écrasées les unes contre les autres sous un poids semblable; et cependant ce n'est là qu'une petite fraction du poids qu'ont eu à supporter plusieurs marnes et argiles. Les coquilles et autres débris organiques contenus dans la vase, ont dû nécessairement céder à cette pression et être comprimés ou écrasés, suivant les circonstances, ainsi qu'on les trouve aujourd'hui dans les argiles et les marnes.

Dans les calcaires, au contraire, les fossiles conservent, en général, leur forme primitive, et on y a peu d'indices de compression, si ce n'est dans les lits de marne qui peuvent s'y trouver subordonnés. La matière calcaire paraît avoir été déposée, en très-grande partie, autour des restes organiques par une solution aqueuse de carbonate

[1] Quelques beaux échantillons, où ce fait est parfaitement visible, ont été envoyés d'Antigoa il y a peu d'années; ils sont maintenant dans la collection du célèbre botaniste le docteur Robert Brown.

de chaux, ainsi qu'on le voit aujourd'hui sur une petite échelle dans plusieurs localités. Il est probable que la matière qui enveloppait les fossiles avait, dès l'origine, une grande solidité, en sorte qu'elle n'a pu être comprimée plus tard. La même chose a eu probablement lieu aussi pour les grès, qui n'ont pu être jamais que faiblement comprimés. Ces différences de compression peuvent très-bien se distinguer dans les alternances des grès avec des marnes schisteuses, ou dans les passages minéralogiques de l'une à l'autre de ces roches. Dans certains cas on peut avoir quelques données sur l'époque relative à laquelle a eu lieu la compression des fossiles des marnes et des schistes marneux; car les rognons calcaires et autres qui sont disséminés dans ces roches, contiennent des fossiles non comprimés ou à peine aplatis, tandis que les fossiles analogues, évidemment enfouis contemporainement, qui se trouvent dans la marne même, y sont écrasés. Nous avons eu occasion d'observer dans le cours de cet ouvrage, que ces rognons sont des agrégations d'une matière homogène qui s'est séparée de la masse de la roche après le dépôt de celle-ci. Il faut donc que la compression ait eu lieu après que ces agrégations s'étaient formées.

Les végétaux ont été enfouis de diverses manières; les uns paraissent être encore à la place à laquelle ils ont vécu, tandis que d'autres ont été brisés en fragments, flottés par les eaux et percés par des tarets ou des animaux analogues, avant d'être déposés dans les couches terrestres. D'autres encore ont été accumulés en grandes masses dans certaines localités, où ils ont produit la houille, cette substance si précieuse pour les arts. Les végétaux fossiles offrent un grand intérêt par les conclusions auxquelles ils peuvent conduire. Ceux qui conservent la position dans laquelle ils ont vécu, ont dû être enveloppés tranquillement par la matière qui les entoure aujourd'hui, tandis que ceux qui se trouvent en fragments détachés ont évidemment été transportés. On en conclut que l'agent de ce transport a été un cours d'eau, et l'on juge de la distance de laquelle ils ont été transportés par l'état de conservation dans lequel on les trouve. Ainsi, lorsqu'on trouve une grande quantité de feuilles parfaitement conservées, on sait que le transport n'en a pas été fort long, et qu'elles ont été enveloppées tranquillement avant leur décomposition. Les changements qui se sont produits dans les parties constituantes des végétaux, sont en rapport avec les circonstances dans lesquelles ils se sont trouvés placés; mais, le plus souvent, le carbone s'est conservé, et les végétaux fossiles sont ordinairement à un état charbonneux. Quelquefois, à la vérité, des infiltrations de silice, de carbonate de chaux ou d'autres substances, ont pé-

nétré dans tous les pores des végétaux, et il arrive même que la nouvelle matière a remplacé en totalité celle dont les végétaux étaient originairement composés. Mais on peut dire pourtant que les végétaux fossiles, pris en masse, ont conservé leur carbone.

L'état actuel des restes organiques doit nécessairement dépendre des circonstances auxquelles ils ont été soumis, soit avant, soit après leur dépôt dans les diverses couches qui les renferment. Sans ces débris nous n'aurions jamais su qu'il eût existé jadis à la surface terrestre des animaux et des végétaux autres que les actuels. C'est par eux que nous avons la preuve la plus évidente que les animaux et les végétaux qui existent aujourd'hui ont été précédés par d'autres, qu'on ne trouve plus à l'état vivant sur notre planète. Nous aurions pu, à la vérité, apprendre, par la superposition des diverses masses minérales, que des matières détritiques et autres s'étaient accumulées, pendant diverses périodes, sur des points donnés de la surface terrestre; et la structure de ces masses aurait pu nous indiquer qu'un temps plus ou moins considérable s'était écoulé pendant leur formation; mais jamais on ne serait arrivé, par ce seul moyen, à connaître la possibilité de variation de climat sur un point donné, et l'existence d'une organisation animale et végétale antérieure à l'actuelle, et se présentant sous des formes différentes. C'est aux fossiles que nous sommes redevables de ces connaissances; ils nous apprennent que l'homme est une créature comparativement récente sur la surface du globe; que les créations ont succédé aux créations sur cette surface; que la vie y a existé depuis des époques géologiques très-reculées; que les climats ont varié sur un même point de la terre; et qu'il n'y a jamais eu de temps d'arrêt dans les modifications de l'organisation animale et végétale, depuis que la vie a paru pour la première fois à la surface de notre planète.

CHAPITRE XIV.

Les matériaux dont se compose l'écorce minérale du globe se divisent nécessairement, d'après les deux agents auxquels on peut en attribuer la production, en terrains d'*origine aqueuse* et d'*origine ignée*. On a adopté en général les termes de *terrains stratifiés et non stratifiés* comme synonymes d'*aqueux* ou *ignés*. Cette division est très-utile dans la pratique, mais elle n'est pas aussi satisfaisante théoriquement parlant, si, du moins, on voulait conclure que toutes les roches divisées en masses tabulaires, reposant les unes sur les autres, doivent avoir été déposées dans l'eau, soit par la voie chimique, soit par la voie mécanique. Nous avons vu (page 72) que les granites du Cornouailles et de Dartmoor sont divisés par des plans de clivage en grandes assises tabulaires qui pourraient passer pour des couches, si elles n'étaient pas coupées par un autre système de plans de clivage qui partage la masse en prismes. Nous ne croyons pas qu'il y ait aujourd'hui un seul géologue qui admette que ces granites ont été déposés dans l'eau; et personne, en aucun cas, n'oserait imaginer que le dépôt s'en est fait prisme par prisme, de la même manière que les hommes construisent leurs édifices. Cependant chacun des plans de clivage tend à diviser le granite en assises tabulaires; les fentes plus constantes sont verticales et dirigées du Nord-Nord-Ouest au Sud-Sud-Est; et si les fissures qui coupent celles-ci étaient moins apparentes, on pourrait dire que la masse granitique est stratifiée. Il est peu de géologues, certes, qui veuillent se servir du terme stratifié en parlant de ce granite; mais il peut y avoir dans d'autres localités des cas équivoques, dans lesquels le clivage ne suffise point à rendre raison de l'apparence stratifiée de certaines autres roches.

Le basalte peut être partagé en assises, ainsi que cela se voit sur la côte d'Irlande près de la Chaussée des Géants, et être pourtant d'origine ignée. Il ne manque pas de preuves de l'origine ignée de cette masse basaltique; mais on en a surtout une bien frappante à *Kenbaan*, où des masses fracturées de craie ont été enveloppées dans la roche en fusion. En même temps les rochers pittoresques qui s'étendent depuis la Chaussée des Géants jusqu'au château de *Dunseverie*, forment une série d'assises dont quelques-unes sont

divisées en prismes, les autres amorphes; ces assises forment une grande courbe qui s'élève au-dessus de la mer en un point et plonge dans l'eau à ses extrémités; la Chaussée des Géants elle-même est formée par l'intersection d'une des assises colonnaires avec la surface de la mer. Il paraît que la cause qui a divisé le basalte en prismes n'a pas agi sur toutes les assises. Les plans qui partagent les diverses assises sont tellement nets qu'on peut en conclure que toute la masse basaltique, dont cette côte offre une section, n'a pas été en fusion contemporainement, mais qu'elle résulte d'une suite de nappes qui se sont épanchées à différents intervalles les unes des autres. Il paraît difficile d'expliquer autrement que par cette hypothèse la division prismatique particulière à quelques assises, et l'aspect général de la masse entière. Il ne s'ensuit nullement que le tout ne soit d'origine ignée, mais seulement que les diverses nappes de la grande formation basaltique du nord de l'Irlande se sont épanchées les unes après les autres, précisément comme un courant de lave peut en recouvrir un autre dans un volcan, le tout appartenant pourtant à la même époque géologique. La seule différence, c'est que les basaltes d'Irlande se présentent en grandes nappes tabulaires, tandis que la lave sortie des volcans subaériens a l'apparence de petits courants linéaires.[1]

Les mêmes phénomènes absolument ont eu lieu à *Staffa*. Les roches trappéennes de cette île, si fameuse par sa belle grotte, forment trois assises distinctes, dont l'inférieure est une sorte de conglomérat trappéen; la moyenne est prismatique, et la supérieure amorphe ou en prismes irréguliers. Ces assises n'ont pas une épaisseur régulière, et il en est de même sans doute de toutes les assises des roches analogues; mais, suivant le docteur Macculloch, l'ensemble en est incliné de 9°[2]. C'est ce plongement qui amène l'assise des prismes à fleur d'eau, où elle se trouve soumise à l'action des brisants qui tendent à excaver la roche en forme de cavernes, là où ils rencontrent le moins de résistance. Les prismes étant formés de plu-

[1] Lorsque de grandes masses du basalte d'Irlande se sont trouvées en même temps sous les mêmes conditions, les mêmes effets se sont développés dans toute la masse. Ainsi les prismes de basalte de *Fairhead* doivent s'être produits pendant que toute la masse y était sous les mêmes conditions. Ce sont là les plus grands prismes basaltiques qui aient été cités dans toutes les parties du monde. Les mesures exactes qu'en a pris récemment le lieutenant du génie Larcom, donnent 317 pieds pour la hauteur des principaux prismes de *Fairhead*. Les côtés de ces prismes monstres ont quelquefois jusqu'à cinq pieds, suivant le même officier.

[2] *Western Islands of Scotland.*

sieurs joints à la grotte de Fingal, les vagues y ont eu plus de facilité, ainsi que le remarque le docteur Macculloch, à creuser cette magnifique caverne[1]. Les roches ignées peuvent donc être stratifiées, c'est-à-dire former des assises superposées les unes aux autres, chaque assise ayant été formée, suivant toute probabilité, à différents intervalles de temps.

Puisque des nappes de roches ignées, d'une plus ou moins grande étendue, peuvent recouvrir des assises préexistantes de roches analogues, de manière à présenter une sorte de stratification résultant du dépôt successif, à des intervalles marqués, d'une masse tabulaire de roches sur une autre masse plus ancienne, il ne faut pas trop se hâter de conclure de la stratification d'un terrain à son origine sédimentaire. Certes, dans le plus grand nombre des cas, la stratification est le résultat d'un dépôt aqueux; mais il ne faut point en inférer que la stratification ne puisse être due à d'autres causes. Nous avons conservé ailleurs[2] la division des terrains en *stratifiés* et *non stratifiés*, parce que cette division est très-utile dans la pratique, et parce qu'il paraît à propos de l'adopter jusqu'à ce qu'on ait trouvé des dénominations plus convenables. Diviser les terrains en *ignés* et *aqueux*, ce serait préjuger toutes les questions relatives à leur origine, et quoique l'on puisse aujourd'hui, sans crainte de se tromper, assigner à une grande partie des terrains l'une ou l'autre origine, il resterait bien des questions à préjuger, si l'on voulait classer tous les matériaux qui entrent dans la composition de la croûte minérale du globe sous l'une ou l'autre de ces divisions. Nous conserverons donc ici la division des terrains en *stratifiés* et *non stratifiés*, par la même raison qui nous l'a fait adopter ailleurs; mais nous désirons qu'il soit bien entendu que nous n'adoptons cette division que pour arriver à étudier les terrains dans l'ordre de leur superposition et de leur âge relatif. Nous allons nous occuper, cela prémis, de ceux des terrains que nous avons classés ailleurs sous le titre de *terrains stratifiés inférieurs* ou *non fossilifères*.

Ce sont là les plus bas de tous les terrains stratifiés, et on n'y a rencontré jusqu'ici aucune trace de débris organiques. Ils sont cristallins et passent facilement d'une roche à l'autre, surtout dans le prolongement des couches; ils ne se présentent avec aucun ordre déterminé, et suivant toute probabilité ils constituent une grande masse minérale inférieure à tous les terrains stratifiés de la surface du globe. Leur position relativement aux autres terrains stratifiés

[1] *Western Islands of Scotland.*

[2] *Manuel géologique*, art. *Classification des terrains.*

et leur texture cristalline, sont deux phénomènes qui paraissent jusqu'à un certain point dépendre l'un de l'autre. Les caractères généraux de ces terrains sont les mêmes, sur quelque point du globe qu'on les observe, et on les a reconnus et étudiés aujourd'hui sur les points les plus éloignés. On peut en conclure une grande uniformité dans la cause, quelle qu'elle fût, qui a produit ces terrains à l'époque géologique de leur formation. Nous avons donc comme caractères généraux de ces terrains, leur position inférieure aux autres, leur texture cristalline et l'uniformité de leur structure générale. Nous pouvons en conclure qu'une cause très-générale a présidé à leur formation, et cela nous conduit à admettre une condition générale uniforme de toute la surface du globe à cette ancienne époque.

On a supposé que le gneiss, les micaschistes, les roches amphiboliques, les schistes chloriteux, et les autres assises des terrains stratifiés inférieurs, avaient été déposés de la même manière que les lits de sable, de vase, de graviers et calcaires qui se forment de nos jours, et que les caractères actuels des terrains anciens étaient dus à l'action longtemps continuée d'une grande chaleur, qui aurait donné lieu à leur texture cristalline actuelle, en même temps qu'elle faisait disparaître toute trace des débris organiques là où il en avait existé. Cette hypothèse implique nécessairement l'existence antérieure de matériaux solides dont la destruction aurait fourni les détritus, et qui auraient servi de lit aux eaux dans lesquelles ces détritus se déposaient; en sorte que l'on ne voit pas trop comment cette hypothèse viendrait à l'appui de l'opinion qui voudrait expliquer tous les phénomènes géologiques par les seules causes que nous voyons agir aujourd'hui, où plutôt par les effets de ces causes. Mais laissant de côté cette considération, il n'est pas facile d'expliquer comment l'effet en question aurait pu se produire de la manière que l'on voudrait supposer. Nous n'avons aucune raison de croire qu'il existe aujourd'hui une grande chaleur au fond de l'océan ; si c'était là le cas, cette haute température devrait influer sur celle de l'eau à la surface de la mer. Or, aucune des expériences qu'on a faites sur la température de la mer à diverses profondeurs ne peut conduire à cette conclusion ; elles amènent plutôt à une conclusion directement contraire. Il s'ensuit qu'en admettant que les détritus actuels puissent arriver aux plus grandes profondeurs de l'océan (ce qui paraît hors de toute probabilité, puisqu'il ne peut exister au delà d'une certaine profondeur une force de transport suffisante), on ne voit pas comment ils pourraient y être chauffés, si ce n'était par une action qui chaufferait et peut-être fondrait les roches du

fond préexistant de la mer. Mais en admettant que d'une manière ou de l'autre ces roches détritiques viennent à subir une haute température[1], il est encore difficile de comprendre comment des corps qui sont aussi mauvais conducteurs de la chaleur pourraient en être modifiés sur les grandes épaisseurs qu'offrent aujourd'hui les roches des terrains stratifiés inférieurs.

Il est bien reconnu aujourd'hui que des roches d'origine mécanique ont été modifiées à l'approche des roches ignées, de telle sorte que des schistes argileux et autres ont pris l'apparence des micaschistes, des gneiss, etc.; et c'est là probablement ce qui a donné lieu à toute l'hypothèse de la transmutation des dépôts aqueux en roches d'apparence ignée; mais il y a nécessairement une limite à ces modifications, suivant la capacité qu'ont les roches des terrains stratifiés de conduire la chaleur, et suivant le volume et la température de la masse ignée qui est portée à leur contact. Il y a, en outre, une grande différence entre une modification de cette nature et une action capable de changer des dépôts analogues à ceux qui se forment de nos jours, en ces immenses masses de terrains stratifiés inférieurs dont on a reconnu l'existence sur différents points de la surface du globe. Il est facile de concevoir qu'avec d'aussi mauvais conducteurs de la chaleur que les roches, ce n'est qu'à une petite distance de la masse ignée que les couches détritiques pourraient être modifiées sans subir une fusion complète et perdre par conséquent toute trace de stratification. Il ne paraît donc guère possible qu'une masse telle que les terrains stratifiés inférieurs ait pu être modifiée de la manière que l'on suppose. Mais admettons, pour un instant, que ces dépôts pussent laisser circuler librement la chaleur de manière que les molécules en prissent la texture cristalline sans que la stratification originaire des couches en fût altérée; on devrait retrouver alors dans les roches cristallines les mêmes éléments chimiques, ou à peu près, que ceux qui sont contenus dans les couches détritiques dont ces roches sont supposées provenir, si ce n'est peut-être près du contact de la masse ignée qui aurait produit la modification en question.

La grande différence qui nous frappe immédiatement lorsque l'on

[1] Suivant la théorie de M. Babbage, si le fond d'une mer est couvert de détritus, et que la chaleur centrale existe réellement, la chaleur tendrait à se porter vers le haut de la masse des roches, en sorte que plus il y aura de détritus accumulés, plus la chaleur générale pénétrera de bas en haut; il s'ensuit que des roches détritiques qui auraient été déposées sur un fond comparativement froid, pourraient arriver à se trouver exposées à une haute température capable d'en modifier la substance.

étudie les deux classes de terrains, c'est la grande proportion de carbone et de chaux qui existe dans les dépôts modernes, dans ceux surtout qui contiennent des fossiles; tandis que le carbone est en quantités minimes et la chaux fort rare dans les terrains stratifiés inférieurs. Les coquilles et les autres restes organiques calcaires, soumis à une action capable de modifier le dépôt qui les contient, devraient, en perdant leur forme, se convertir en cristaux de chaux carbonatée, et d'autres changements analogues, faciles à prévoir, devraient résulter de la modification des ossements des sauriens et autres; car, puisqu'il n'y aurait pas fusion, mais un simple changement de position dans les molécules de la matière, l'acide carbonique devrait rester combiné avec la chaux. Il s'ensuit donc, qu'à part toutes les autres objections, qu'il serait facile d'énumérer, on trouverait dans les sédiments actuels modifiés d'autres éléments chimiques que ceux que contiennent les terrains stratifiés inférieurs; la même chose aurait lieu, si on supposait une modification des roches des groupes supracrétacé, crétacé, oolitique, du grès rouge ou carbonifère. Quant au groupe de la grauwacke, il y a peut-être moins d'invraisemblance à concevoir une modification de ses roches qui les ferait passer à celles des terrains stratifiés inférieurs, mais la chose présenterait encore des difficultés sérieuses. D'après tout ce que nous venons de dire, il paraît donc que l'hypothèse qui voudrait que les terrains stratifiés inférieurs fussent des dépôts analogues à ceux qui se forment de nos jours, modifiés par la chaleur, n'offre que peu de probabilité; et cette probabilité diminue encore, s'il est possible, lorsque l'on étudie les relations des roches de ces terrains inférieurs, les unes avec les autres.

Lorsque les terrains stratifiés inférieurs sont développés sur de grandes échelles, on trouve en général que le gneiss et le micaschiste en sont les roches les plus abondantes, qui constituent la proportion de beaucoup la plus grande de la masse entière. Les roches amphiboliques viennent ensuite, puis les eurites et les quarzites; puis, enfin, les schistes talqueux, les schistes chloriteux et les schistes argileux. Les calcaires et les dolomies sont si rares parmi les terrains dont nous nous occupons, que le volume relatif doit en être excessivement peu considérable; la présence de ces roches est pourtant un fait important sous le point de vue théorique; car elle prouve que les terrains stratifiés inférieurs ne sont point composés exclusivement de silicates, et que des carbonates s'y sont formés aussi, quoique en quantité comparativement minime.

On a essayé de calculer les proportions des substances élémentaires qui entrent dans la composition générale du gneiss, du mi-

caschiste, etc. De tels calculs ne peuvent être sans doute que des approximations, mais ils suffisent pour faire voir quelles sont les principales différences chimiques des roches en question, soit entre elles, soit avec celles des dépôts plus récents. Supposons une surface fort étendue, composée en parties égales de gneiss et de micaschiste; supposons que les deux tiers du gneiss soient composés de parties égales de quarz, de feldspath et de mica, et l'autre tiers de parties égales d'albite, de quarz et de mica, et que le micaschiste soit composé de parties égales de quarz et de mica fluorifère, on aura pour la moyenne de cent parties de la masse entière des terrains stratifiés inférieurs de cette contrée,

Silice	71,87
Alumine	14,09
Magnésie	2,08
Potasse	5,73
Soude	0,55
Chaux	0,25
Oxide de fer	3,45
Oxide de manganèse	0,30
Acide fluorique	0,45
Eau	0,86

Il est évident que si l'on connaît les proportions relatives des diverses roches du groupe stratifié inférieur ou non fossilifère d'une contrée donnée, on peut calculer de la même manière les quantités des substances élémentaires contenues dans la masse de ces terrains, avec une approximation qui suffit pour qu'on puisse en tirer diverses conclusions importantes.

On a calculé qu'un gneiss composé de parties égales de quarz, de feldspath et de mica contient,

Silice	70,06
Alumine	15,03
Magnésie	1,66
Chaux	0,37
Potasse	7,92
Oxide de fer	2,97
Oxide de manganèse	0,20
Acide fluorique	0,36
Eau	0,66

Si l'on prend ce gneiss pour point de comparaison, on aura entre cette roche et celles comprises dans le tableau ci-dessous, les différences approximatives de composition chimique qui suivent:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Silice........	+1,86	+3,01	− 8,12	−15,20	− 6,35	+ 8,38	+5,18	+5,14	+11,96
Alumine......	+0,17	−1,95	+ 0,42	+ 0,53	− 6,08	− 9,63	−8,44	−0,03	− 5,56
Potasse.......	−3,55	−1,86	− 4,55	− 1,09	− 7,14	− 7,92	−3,37	−4,52	− 1,09
Soude........	+3,31								
Magnésie.....	+0,04	+0,83	0,00	+ 7,73	+ 5,62	+11,54	+7,60	+0,74	− 1,66
Chaux........	−0,12	−0,20	+ 0,08	+ 6,92	− 0,12	+ 1,63	−0,04	+0,83	+ 0,01
Acide fluorique	0,00	+0,18	0,00	+ 0,39	− 0,36	− 0,36	−0,36	−0,36	− 0,36
Oxide de fer...	−0,21	+1,11	+11,75	+ 1,06	+12,34	+ 1,08	−1,89	−2,97	− 2,60
— manganèse	+0,06	+0,10	+ 1,03	− 0,09	− 0,20	− 0,20	−0,20	−0,20	− 0,20
Eau..........	−0,21	+0,34	0,00	− 0,66	− 0,66	− 0,84	+1,34	+0,84	− 0,66

A, Gneiss, composé de parties égales d'albite, de quarz et de mica; B, Micaschiste à parties égales de quarz et de mica; C, Micaschiste à parties égales de quarz, mica et grenats; D, Amphibolite à parties égales d'amphibole et de feldspath; E, Schiste chloriteux, à parties égales de chlorite et de quarz; F, Schiste talqueux, à parties égales de quarz et de talc; G, Protogine, à parties égales de quarz, feldspath et stéatite; H, Eurite, analogue à celle de Nantes; I, Quarzite, composé à parties égales de quarz et de feldspath.

On voit par le tableau qui précède que les modifications des principales roches du terrain stratifié inférieur tiennent à certaines combinaisons diverses d'un petit nombre de silicates. Ces modifications sont très-intéressantes à suivre dans la nature, où l'on voit souvent les roches de ce terrain passer de l'une à l'autre de la manière la plus insensible, surtout dans le prolongement des couches, de manière qu'il est presque impossible de distinguer le commencement et la fin du passage. L'augmentation ou la diminution progressive de l'un ou l'autre des silicates suffit pour changer l'aspect de la roche, qui passe ainsi d'une espèce déterminée à une autre. Ces passages se font pourtant souvent d'une manière si singulière, qu'il paraît impossible de donner l'un des noms des roches connues au mélange de minéraux qui en résulte, quelque commode qu'il puisse être d'ailleurs d'avoir un nom pour désigner les associations les plus marquées de ces minéraux.

Malgré ces changements, qui ne sont que d'une importance secondaire, les caractères communs à la masse entière des terrains stratifiés inférieurs sont tellement frappants, que nous sommes amenés naturellement à attribuer à une seule et même cause la production de tous ces terrains. Si la théorie de la chaleur centrale a réellement autant de probabilité qu'elle paraît en présenter, il nous faudra rechercher cette cause dans l'uniformité de la surface de la terre due à l'influence de cette chaleur, à une certaine époque donnée. Or, d'après cette théorie, il a dû y avoir un temps

où la croûte minérale a commencé à se solidifier; et il a dû y avoir un temps aussi où la surface minérale a été assez refroidie pour commencer à permettre l'existence de l'eau à l'état liquide. Ces deux événements ne peuvent guère avoir été contemporains, car tout porte à croire que la surface du sphéroïde terrestre, lors de sa première consolidation, devait avoir une température trop élevée pour permettre à l'eau de s'y maintenir à l'état liquide. Il a dû y avoir plus tard une époque où l'eau pouvait être liquide à la surface du globe, et alors cette eau à une haute température devait s'évaporer rapidement, se condenser de nouveau dans l'atmosphère et retomber encore à la surface terrestre. Il est évident qu'aucun animal ou végétal analogue à ceux que nous connaissons aujourd'hui, ne pouvait exister dans un tel état de choses. Il n'a donc pas pu se trouver de débris organiques enfouis dans les couches qui se formaient sous de telles conditions. Il ne pouvait pas non plus se produire du carbonate de chaux; car, l'acide carbonique étant chassé de l'eau à cette haute température, le carbonate de chaux ne pouvait s'y trouver en solution. Il faut se rappeler en outre que la chaux elle-même est moins soluble dans l'eau chaude que dans l'eau froide; car Dalton a trouvé qu'un grain de chaux exige, pour être dissous,

778 grains d'eau à 15°56 centigrades,
1270 grains d'eau à 100° *idem.*[1]

La chaux elle-même ne pourrait donc se trouver dissoute qu'en très-petite quantité; l'on ne pourrait s'attendre à avoir du carbonate de chaux en solution; il ne pourrait donc point y en avoir de déposé. Le cas serait bien différent quant aux silicates, car on a la preuve dans un grand nombre de sources thermales, que la chaleur de l'eau favorise la solution de la silice.

Il nous reste à rechercher maintenant jusqu'à quel point il pouvait se produire des roches détritiques, lorsque la surface de la terre se trouvait dans de telles conditions. Les courants à la surface des eaux sont produits par les vents, dont le frottement sur l'eau pousse celle-ci dans leur direction; la température uniforme d'une atmosphère chargée de vapeurs aqueuses fort chaudes, paraît peu favorable à la production de vents capables de déterminer des courants d'une certaine importance géologique. Mais l'action des marées due à une tout autre cause subsistait dans toute sa force; en sorte que, s'il existait, ainsi qu'il est probable, à la surface du globe,

[1] *Turner's Elements of Chemistry, 4th edit.*, p. 467.

des inégalités donnant lieu à des bas-fonds et même à des terres élevées au-dessus des eaux, les courants dus aux marées devaient être capables de transporter des matériaux détritiques à des distances plus ou moins considérables, suivant les circonstances. Si quelques parties de l'écorce solide s'élevaient à des hauteurs considérables, les vapeurs aqueuses devaient se condenser autour des cimes plus élevées et donner lieu à des eaux courantes. Nous avons là tous les éléments nécessaires à la production des roches fragmentaires, et par conséquent, si l'on découvrait dans les terrains stratifiés inférieurs quelque roche d'origine mécanique, il n'y aurait dans cette découverte rien qui s'oppose à l'hypothèse que nous avons émise. Nous pouvons même aller plus loin et admettre comme très-probable l'existence de pareilles roches; car on peut penser que dans l'état que présentait alors la surface terrestre, il devait s'opérer de fréquentes ruptures dans son écorce si mince, ruptures qui devaient amener une agitation des eaux capable de produire de grandes vagues et des courants puissants qui auront pu démolir les parties solides des roches et en transporter au loin les fragments.

Plusieurs des roches des terrains stratifiés inférieurs sont évidemment des produits chimiques, et quelques-unes ressemblent parfaitement à des granites et des grünsteins stratifiés. Cette ressemblance est surtout frappante dans cette sorte de gneiss qui se présente en assises puissantes, et qui contient de gros cristaux disséminés de feldspath ou d'albite, et dans lequel les paillettes de mica ne sont point disposées parallèlement aux plans des assises. Certains lits d'amphibolite ont des caractères peu différents de ceux des masses de grünstein. Nous avons eu occasion de voir comment ces deux sortes de roches finissent par passer dans le prolongement des couches au gneiss commun ou à des schistes amphiboliques avec mica; la première, par l'arrangement graduel des paillettes de mica, suivant un même plan; et la seconde par l'introduction du mica, qui, lorsqu'il est un peu abondant, en fait une roche éminemment schisteuse. Ce sont là des différences bien marquées d'avec ce qui se voit dans le granite ou le grünstein ordinaire; elles indiquent tout au moins une modification considérable dans les circonstances dans lesquelles ces diverses roches ont été produites.

Nous arrivons ainsi à réunir à la fois l'absence des restes organiques, la rareté probable du carbonate de chaux, la prédominance des silicates et la possibilité d'une association de dépôts chimiques et mécaniques. Nous devrions nous attendre en outre à ce que les caractères chimiques généraux des roches des terrains stratifiés inférieurs correspondissent avec ceux des produits ignés

qui se sont épanchés à diverses époques à la surface du globe. Or, cette analogie de caractères existe, et elle a lieu surtout, ainsi qu'on devait s'y attendre, avec les caractères des roches ignées les plus anciennes. Toutes les circonstances que nous avons supposées devaient être très-favorables à des associations des roches ignées de cette période avec celles qui se déposaient dans un océan à température si élevée. Et il ne faut point oublier que cet océan devait tenir en solution un grand nombre de substances dont quelques-unes existent encore dans l'océan actuel. Il est inutile de faire remarquer la coïncidence des résultats que nous venons d'énumérer avec ce qui s'observe dans les roches des terrains stratifiés inférieurs. Si notre planète a jadis été fluide, comme tout porte à le croire, et si cette fluidité était due à la chaleur, ce qui est de toute probabilité, il est difficile qu'elle ne soit point arrivée à un état de choses plus ou moins semblable à celui que nous avons exposé plus haut, et il a dû alors se former une série de roches différentes de celles qui ont été produites à des époques plus récentes; et le caractère le plus saillant de ces terrains anciens a dû être l'absence de tout débris organique.

CHAPITRE XV.

Nous allons maintenant jeter un coup d'œil rapide sur quelques-unes des circonstances qui se rapportent aux terrains que nous avons nommés *fossilifères,* et dont les débris organiques prouvent que la vie avait été créée à la surface de notre planète avant leur formation. On a reconnu que les terrains fossilifères d'Europe, ceux de toute la surface du globe qui ont été le mieux étudiés, peuvent être divisés en différents groupes, d'après la diversité de leurs caractères zoologiques. L'ordre relatif de la série de ces terrains n'est jamais interverti, quoique plusieurs membres de la série puissent manquer et manquent en effet sur un grand nombre de points; il s'ensuit que nous avons là, en quelque sorte, des archives géologiques fondées sur les époques auxquelles des êtres organiques déterminés ont apparu et disparu sur des surfaces données. Lorsqu'un dépôt connu de la série géologique manque dans une localité quelconque, il importe de déterminer, autant que possible, si ce dépôt a existé jadis, ou non, dans cette localité. Un terrain donné, B, peut avoir été déposé sur un autre terrain, A, et avoir été enlevé ensuite dans la localité dont il s'agit, par des agents de dégradation, en sorte qu'un autre terrain, C, se trouvera déposé immédiatement à la surface de A. On doit, dans ce cas, s'attendre à trouver sur cette surface des traces d'érosion ou de dénudation, et on les reconnaît souvent, en effet. Il y a nécessairement dans ce cas de l'incertitude, quant à la succession des animaux et des végétaux qui peuvent avoir vécu sur ce point de la surface du globe. Mais il peut arriver aussi, et il est effectivement arrivé souvent qu'un terrain, C, s'est déposé sur une partie de la surface A qui n'avait jamais été recouverte par B, en sorte que lorsqu'il s'agit de reconnaître comment un terrain fossilifère d'un âge connu a été distribué sur une portion déterminée de la surface terrestre, et par conséquent les espèces animales et végétales qui s'y sont succédé, il faut bien étudier les circonstances du contact des deux terrains fossilifères qui se trouvent superposés l'un à l'autre. C'est là une étude qui exige souvent un grand travail, mais le but en est d'une importance tout aussi grande. Par exemple, sur plusieurs points de l'Angleterre le lias repose sur le groupe du

grès rouge, à la partie supérieure duquel il n'y a, dans cette contrée, que peu ou point de fossiles, tandis qu'il ne s'y est pas sensiblement développé de calcaire. On en avait conclu, pendant longtemps, qu'il n'y avait point eu de dépôt contenant des fossiles entre le lias et le calcaire magnésien; et en conséquence que les espèces animales et végétales dont on rencontrait les restes dans le lias, avaient succédé à celles qui se trouvaient enfouies dans le calcaire magnésien ou zechstein. On a dû reconnaître, plus tard, que la chose était tout autrement; car une formation calcaire remarquable, le muschelkalk, qui se trouve dans l'Europe occidentale, depuis la Pologne jusqu'aux côtes méridionales de la France, à la partie supérieure du grès rouge, contient des fossiles qui diffèrent à la fois de ceux du lias et de ceux du calcaire magnésien; en sorte que les divers animaux et végétaux dont on trouve les restes dans ces deux dernières formations, n'ont pas immédiatement succédé les uns aux autres en Europe. Des espèces différentes ont habité l'Europe pendant une période intermédiaire; si elles ne se trouvent pas en Angleterre aujourd'hui, c'est qu'elles n'ont point vécu alors sur la partie de la surface terrestre correspondante, ou bien, que quelque circonstance inhérente à la formation du dépôt lui-même ne permettait pas la conservation des débris organiques sur cette partie de la surface terrestre.

Ce n'est donc qu'avec beaucoup de soins et de précautions qu'on peut parvenir, par l'étude des fossiles, à juger soit de la succession des animaux et des végétaux qui ont vécu sur la partie de l'écorce terrestre qui forme l'Europe actuelle, soit de leur distribution à une époque géologique donnée quelconque. Combien ne faudra-t-il pas plus de circonspection encore, lorsqu'on voudra en déduire des conclusions relatives aux conditions générales de l'organisation sur toute la surface terrestre pendant les diverses périodes géologiques?

Une grande partie des couches des terrains fossilifères a résulté du dépôt de matières suspendues mécaniquement dans l'eau; et, en général, plus les parties détritiques sont ténues, plus les débris organiques paraissent avoir été enveloppés d'une manière tranquille. Des actions postérieures peuvent avoir comprimé et écrasé sur place ces fossiles; mais, toutes choses égales d'ailleurs, un dépôt de matières ténues, qu'on peut supposer avoir été jadis de la vase et qui est aujourd'hui une marne ou argile, est celui des dépôts mécaniques qui offre les fossiles les mieux conservés. Ainsi que nous l'avons remarqué déjà, les calcaires compactes doivent être regardés comme des dépôts chimiques plutôt que mécaniques, quoique, rigoureusement parlant, le carbonate de chaux une fois précipité

étant insoluble dans l'eau, il s'y trouve en suspension mécanique; en sorte que l'on doit s'attendre à ce que les fossiles y soient, ainsi qu'ils le sont réellement, dans un état parfait de conservation, puisqu'ils ont été enfouis de la manière la plus tranquille par les molécules du précipité calcaire.

Le plus inférieur des groupes fossilifères qui nous sont connus, se compose d'une série puissante de couches de grès à grain souvent excessivement fin, auxquelles sont associés des schistes argileux et des calcaires : on le nomme le groupe de la grauwacke. On a des preuves nombreuses que ces couches résultent de détritus charriés par les eaux; mais si on mesure l'épaisseur de ce dépôt perpendiculairement au plan des couches, on arrive à des dimensions tellement prodigieuses, qu'on est conduit à se demander s'il n'y a point quelque source d'erreur dans ce genre d'observations. Nous avons vu (p. 35) que des lits de sable peuvent se former, les uns sur les autres, sous des angles de 20 à 30° au fond d'une eau d'une profondeur moyenne; en sorte que, si on voulait mesurer l'épaisseur de ce dépôt comme on mesure celle des couches de la grauwacke, on aurait un résultat très-erroné; or, comme la grauwacke ainsi mesurée se trouve ordinairement avoir, dans les différentes localités où on l'a observée, plusieurs milles d'épaisseur, il aurait fallu qu'il existât, lors de son dépôt, un océan d'une profondeur hors de toute proportion avec nos idées de géographie physique, ou bien que le fond de la mer s'abaissât à mesure que les matériaux détritiques s'accumulaient, si l'on veut supposer que les couches de la grauwacke aient pu atteindre une telle épaisseur dans une position horizontale. Il paraît plus raisonnable de s'en tenir à une explication qui n'exige d'autres conditions que celles qui existent aujourd'hui en dehors des diverses côtes à la limite des sondes, et conclure que cette épaisseur, en apparence si extraordinaire, est due à ce que les détritus ont été poussés sur le fond de la mer jusqu'au talus qui termine les sondes; qu'ils auraient roulé sur ce talus, de manière à ce qu'une molécule supportant l'autre, le tout pût se disposer en assises inclinées sous des angles qui, dans des circonstances favorables, auraient été jusqu'à 20 ou 30°.[1]

Parmi les assises de la grauwacke on commence à trouver le carbonate de chaux en plus grande abondance, quoique la quantité en soit peu considérable, si on la compare aux masses calcaires des formations plus récentes; la présence du carbonate de chaux prouve

[1] Ce mode de dépôt ne paraît guère compatible avec la faible inclinaison du talus qui se trouve à la limite des sondes de cent brasses. Voir la note à la page 136. (*Note du traducteur.*)

que, lors de la formation de la grauwacke, quelque modification avait eu lieu dans les conditions sous lesquelles se déposaient les sédiments. On trouve, en général, des restes organiques dans ces assises calcaires; et prenant le groupe de la grauwacke dans son ensemble, on peut dire que c'est surtout dans les couches calcaires qu'on trouve les fossiles de ce groupe.

Il est extrêmement difficile de séparer le groupe de la grauwacke des terrains stratifiés inférieurs, car là où l'on peut bien distinguer le contact des deux formations, il paraît y avoir un passage insensible entre les terrains fossilifères et les non fossilifères; passage qui s'opère surtout par une alternance des couches des deux terrains. C'est là précisément ce que l'on doit s'attendre à trouver si la théorie de la chaleur centrale a quelque fondement; car les eaux devaient d'autant plus s'arrêter à l'état liquide à la surface du globe, que cette surface était plus froide, et les rivières et autres agents de même ordre étant plus abondants, il devait y avoir une plus grande production de détritus; en même temps les dissolutions qui tenaient à la haute température des eaux, devaient devenir de plus en plus rares.

On peut admettre, d'après toutes les analogies, que la vie ne saurait exister dans des eaux à une température élevée, ne serait-ce que parce que les hautes températures auraient pour effet de chasser l'air atmosphérique disséminé dans ces eaux; une mer d'une chaleur tempérée paraît donc être une des conditions nécessaires à l'existence des animaux marins. Lorsque la surface des eaux était à ce degré de chaleur, la température diminuant à mesure que la profondeur augmentait, il a dû exister, aux différents niveaux, des zones diverses qui pouvaient être habitées par des animaux d'espèces diverses.

On trouve dans les listes, sans doute encore fort incomplètes, des fossiles de la grauwacke, plusieurs espèces de genres qui existent encore dans les mers actuelles. Si l'on admet que les espèces d'un même genre ayent, en général, les mêmes habitations aux diverses époques géologiques, ce qui, il faut l'avouer, est bien loin d'être démontré, il faudrait conclure que les animaux de la grauwacke étaient ou littoraux, ou de mers peu profondes, ou bien encore qu'ils nageaient librement dans l'océan. Les circonstances qui affectent aujourd'hui les animaux marins, relativement au milieu dans lequel ils vivent, devaient affecter de même les animaux de la grauwacke. Les animaux doués des organes de la vision, devaient avoir besoin de lumière; ceux qui vivaient habituellement à de petites profondeurs, ne pouvaient point supporter de grandes pressions d'eau à des profondeurs beaucoup plus grandes; et les fonds de nature différente

ne devaient point convenir également à toutes les espèces. L'ensemble des débris marins de la grauwacke est tel, qu'on peut supposer que toutes les espèces en vivaient à de petites profondeurs, et que deux ou trois cents brasses d'eau devaient comprendre toutes les zones nécessaires à leur existence. On dira peut-être que nous ne pouvons avoir aucune idée de l'habitation des *trilobites*, puisqu'on n'a point encore découvert dans nos mers actuelles d'animal qui leur fût précisément analogue; cela peut être vrai quant à la nature du fond qu'elles ont dû habiter; mais comme les trilobites avaient des yeux, nous pouvons bien croire que la lumière leur était nécessaire et par conséquent qu'elles ne vivaient pas à de très-grandes profondeurs. On les trouve parfois ensevelies par myriades dans les couches d'une même localité, et comme elles sont souvent complètes, et paraissent avoir été enfouies soit vivantes, soit avant que la décomposition eût suivi leur mort, on peut conclure que quelques-unes, au moins, des espèces des trilobites vivaient en société.

Il ne peut convenir au plan de cet ouvrage d'entrer dans plus de détails relativement aux restes organiques de la grauwacke; mais si le lecteur veut comparer les listes des fossiles connus dans les couches de ce groupe, avec le tableau qu'on trouvera à la fin du volume, sur les habitations des différents genres actuels sous le rapport de la profondeur et de la nature du fond, il aura probablement lieu de conclure que la vie sous-marine de cette ancienne période occupait des baies, des criques, des bas-fonds, des eaux peu profondes et les hautes mers, absolument comme les animaux marins font de nos jours; que quelques-uns des genres qui vivaient lors du dépôt de la grauwacke, ont disparu de la surface du globe, tandis que d'autres y existent encore, et que plusieurs des genres vivants aujourd'hui n'ont point été découverts parmi les fossiles de cette époque.

Puisque le carbone est essentiel aux êtres vivants, animaux et végétaux, qui existent aujourd'hui à la surface du globe, on est autorisé à penser qu'il en a été de même dès la première existence des êtres organisés. Or il est à remarquer que la matière calcaire a augmenté dans les couches terrestres avec la première apparition de la vie. Le carbone étant si excessivement rare dans les terrains stratifiés inférieurs, on est conduit naturellement à se demander quelle en a été l'origine. Aujourd'hui les fissures et les orifices volcaniques dégagent continuellement et versent dans l'atmosphère une quantité considérable de carbone combiné avec l'oxigène sous forme d'acide carbonique. Si, comme nous l'avons supposé, il y a eu un temps où les eaux étaient à une température tellement élevée

qu'elles ne pouvaient absorber l'acide carbonique, et s'il n'existait alors aucun être vivant qui s'appropriât une partie de ce carbone, il est évident que tout l'acide carbonique dégagé de l'intérieur de la terre devait rester dans l'atmosphère, en exceptant toutefois les parties de cet acide qui auront pu se combiner avec les substances minérales qui se trouvaient au-dessus du niveau des eaux, au cas que la température de ces substances permît une telle combinaison. A mesure que la surface terrestre se refroidissait, cet état de choses devait nécessairement changer; les eaux devaient absorber l'acide carbonique, et dès lors elles devenaient susceptibles d'exercer une action chimique sur diverses substances; elles pouvaient se charger de chaux carbonatée en solution, tandis que cette substance était insoluble auparavant dans les eaux qui ne contenaient point d'acide carbonique. Les êtres vivants auront dû s'approprier, lors de leur première création, une grande quantité de carbone, et un volume correspondant d'oxigène aura été mis en liberté pour contribuer à l'existence des créatures qui venaient d'être douées de la vie. L'atmosphère se serait ainsi purifiée par la soustraction d'une partie de son acide carbonique, et en même temps elle serait devenue plus propre au maintien de la vie par la proportion considérable d'oxigène libre qui sera venu s'y ajouter.

Dans les circonstances que nous avons supposées, on aurait eu une mer ayant des températures uniformes à chaque niveau particulier, des terres s'élevant au-dessus des mers sur différents points, et des eaux ayant nécessairement des profondeurs différentes. Cet état de choses serait infiniment favorable à une certaine uniformité générale dans la distribution de la vie animale et végétale. On a cru reconnaître qu'une telle uniformité existait dans les fossiles de la grauwacke. Cela est certainement vrai en grande partie en ce qui concerne la grauwacke connue en Europe et dans l'Amérique septentrionale, dont les divers fossiles sont, en général, semblables; mais il ne serait point logique de conclure de cette ressemblance quelque chose au delà d'une égalité de conditions d'existence, dans quelques parties de l'hémisphère septentrional, pendant cette période géologique. Les données nous manquent pour savoir dans quelles circonstances se trouvaient, pendant la même période, les parties de la surface situées sous les tropiques et dans l'hémisphère méridional. Tant qu'on a cru qu'une même structure minéralogique caractérisait nécessairement des roches d'un même âge, on a pu dire qu'on trouvait la grauwacke dans plusieurs localités des tropiques et de l'hémisphère austral; mais on n'a aucune preuve aujourd'hui que les terrains auxquels on a donné ce nom, appartiennent réellement

à la même période que la grauwacke du Nord. Suivant toute probabilité, il a dû se former dans ces parties du globe des couches équivalentes, et à mesure que l'on connaîtra les fossiles de ces couches, il sera très-curieux de les comparer à ceux de la grauwacke de l'Europe et de l'Amérique septentrionale, et d'en avoir les analogies et les différences. Nous avons eu occasion de remarquer que ni l'identité générale des caractères zoologiques, ni celle de la structure minéralogique, ne prouvent que deux dépôts ayent jamais été continus; ainsi il aura pu exister à toutes les périodes géologiques des continents détachés les uns des autres, autour desquels il se sera formé des dépôts entièrement distincts, quoique ayant les mêmes caractères zoologiques.

Les observations récentes de M. Murchison sur la partie supérieure de la grauwacke du pays de Galles, et sa continuation dans les parties voisines de l'Angleterre, ont prouvé que, dans ces localités, il y a une différence marquée entre les fossiles des diverses subdivisions de cette grauwacke supérieure, en sorte qu'on doit s'attendre à ce qu'il y ait une différence plus prononcée encore entre la grauwacke supérieure et l'inférieure. Ces différences supposeraient une modification dans les circonstances auxquelles tenait auparavant la vie animale, modification qui aurait pu causer la destruction d'une partie des animaux, ou leur migration dans des localités où ils auraient retrouvé les conditions nécessaires à leur existence. La généralité de ces changements ne pourrait tenir qu'à la généralité de la cause à laquelle ils sont dus; en sorte qu'il serait très-hasardé de décider *à priori* que la grauwacke supérieure, qui, en Podolie, aux environs de Saint-Pétersbourg, en Suède et en Norwége, est remarquable par l'horizontalité de ses couches, présentera exactement le même ensemble de fossiles.

Le groupe carbonifère suit la grauwacke dans la série ascendante des terrains de l'Europe[1], et on l'appelle ainsi parce que la grande masse des combustibles d'Europe est comprise parmi les couches qui le constituent. On croit qu'une grande partie de la houille de l'Amérique appartient au groupe de la grauwacke; et cette opinion n'a rien d'invraisemblable, puisque, s'il existait une végétation terrestre pendant le dépôt de la grauwacke, il ne paraît point y avoir de raison pour que les restes de cette végétation ne se fussent pas accumulés dans les couches qui lui étaient contemporaines. En effet,

[1] Le lecteur trouvera dans le *Manuel géologique*, et dans d'autres ouvrages de géologie, le tableau de l'ordre de succession des divers groupes des terrains fossilifères, la description de ces groupes et l'indication des localités dans lesquelles on les rencontre.

la partie supérieure du groupe de la grauwacke contient, en Europe, des couches d'anthracite présentant des impressions végétales. M. Élie de Beaumont cite, dans la grauwacke du Boccage (Calvados) et de l'intérieur de la Bretagne, des exploitations d'anthracite, dans lesquelles on trouve des restes de plantes qui ne diffèrent pas sensiblement de celles de la houille proprement dite. Le même auteur cite encore à cette même époque, des couches contenant de l'anthracite et des végétaux fossiles qui se trouvent vers l'extrémité sud-ouest des Vosges. M. Virlet croit que le combustible de Saint-George-Châtellaison doit être rapporté à la grauwacke; et M. Weaver rapporte au même groupe tout le combustible de la province de Munster (Irlande), à l'exception de celle du comté de Clare.

Il est très-intéressant de rechercher jusqu'à quel point les faits viennent prouver la contemporanéité de l'apparition à la surface du globe de l'organisation végétale et animale; et combien, d'après les analogies connues, l'organisation de cette période ancienne pouvait être adaptée à une atmosphère qui aurait différé de la nôtre dans les proportions relatives de l'acide carbonique. Les travaux de M. Adolphe Brongniart sur les végétaux fossiles, l'ont conduit à croire que, lors de la formation du terrain houiller, l'atmosphère contenait une proportion d'acide carbonique plus grande que celle de l'atmosphère actuelle; et que cette plus grande quantité d'acide carbonique facilitait le développement des végétaux gigantesques dont on trouve les restes dans ce terrain, et s'opposait, en partie du moins, à la décomposition des végétaux par les actions atmosphériques. Cette conclusion est d'autant plus remarquable, que nous y sommes arrivé par une suite de raisonnements toute différente. On a conclu, en outre, que le carbone ainsi soustrait à l'atmosphère, la rendait propre, peu à peu, à la respiration des reptiles, et finalement à celle des mammifères. S'il y a quelque vraisemblance dans les raisonnements qui nous ont aidé à suivre les changements qui auraient lieu dans l'atmosphère d'après la théorie de la diminution progressive de la température terrestre, cette atmosphère a dû de même se purifier de son excès de carbone, lorsque les eaux furent assez refroidies pour pouvoir absorber de l'acide carbonique, et former, par suite, des dépôts calcaires. Nous avons montré quel énorme volume de ce gaz se trouve fixé dans les calcaires, puisqu'un *yard* cube de calcaire en contient 16,000 pieds cubes (page 8). Les coquilles actuellement vivantes doivent en contenir de même un volume considérable, puisque les deux valves de la grande Tridacne, qui est à Paris maintenant, et qui pèsent 500 livres, contiennent un peu plus de 3,250,000 pouces cubes d'acide carbonique, en supposant

que le carbonate de chaux en soit pur, et environ 3,000,000 de pouces cubes, déduction faite de la matière animale qui peut rester encore dans la coquille. On arriverait ainsi, par une diminution donnée de la température terrestre, à un état de choses approprié à la vie animale et végétale. Tant que le carbonate de chaux ne pouvait pas se former librement dans les eaux, le grand nombre d'animaux marins qui en sécrètent des quantités comparativement si grandes, tels que les mollusques à coquilles, les encrines et les coraux, dont on trouve les restes dans les plus inférieures des couches fossilifères, ne pouvaient s'en procurer la quantité nécessaire; et ainsi, indépendamment de la haute température de l'eau et de la difficulté d'y trouver disséminé l'oxigène nécessaire à leur respiration, les circonstances n'étaient nullement favorables à l'existence de ces animaux.[1]

Les botanistes qui se sont occupés des plantes fossiles admettent tous que les végétaux qu'on a découverts dans le terrain houiller, sont analogues à ceux qui vivent sous la zone torride, et surtout dans les îles équatoriales. Quelles que soient les opinions relativement aux divers genres vivants desquels ces plantes se rapprochent le plus, toutes concordent du moins en ce qui concerne la haute température du climat dans lequel elles ont végété. On a même cru, d'après le grand développement qui avait eu lieu dans certaines espèces, que ce climat devait être plus que tropical. Il ne faut pas oublier que ces conclusions résultent de faits observés entre les parallèles de 40 et 60° de latitude nord; et l'on peut croire que, si ces hautes latitudes jouissaient d'un climat plus que tropical, il fallait que l'atmosphère terrestre fût généralement à une température fort élevée; l'on peut juger dès lors quelles devaient être les conséquences d'un tel état de choses.

On a reconnu que sur quelques points de l'Angleterre il y a

[1] Quoi qu'on en ait pu dire jadis, il paraît avéré aujourd'hui, surtout d'après les travaux de M. Gray (*Phil. Trans.* 1833), que les mollusques ont la faculté de dissoudre leurs coquilles. On sait depuis longtemps que plusieurs d'entre eux peuvent percer les roches calcaires. L'eau chargée d'acide carbonique pouvant dissoudre du carbonate de chaux, qu'elle ne peut attaquer sans cet acide, il paraîtrait que si les mollusques pouvaient imprégner de l'eau d'acide carbonique, et appliquer cette eau à leurs coquilles ou aux roches calcaires, le carbonate de chaux en serait dissous peu à peu. Or les mollusques forment de l'acide carbonique par leur respiration, tout comme les animaux qui respirent l'air libre; il s'ensuit donc que si les mollusques pouvaient saturer de cet acide une quantité d'eau, en retenant l'eau expirée dans des réservoirs quelconques, et peut-être en la respirant un grand nombre de fois, ils auraient la faculté de dissoudre la matière calcaire de leurs coquilles et celle des roches.

passage de la grauwacke au vieux grès rouge, qui lui est superposé; tandis que, sur d'autres points, des conglomérats, qu'on croit représenter le dernier de ces terrains, reposent sur la tranche des couches fracturées du premier; de sorte qu'on a lieu de reconnaître que, tandis qu'une grande tranquillité régnait sur quelques points d'une surface relativement peu étendue, des forces de dislocation agissaient sur d'autres points de cette surface et y empêchaient le dépôt tranquille de roches sédimentaires. M. le professeur Sedgwick a parfaitement tracé les limites du vieux grès rouge en Angleterre; et d'après l'absence de ce terrain entre les calcaires carbonifères et la grauwacke de la partie nord du pays de Galles, il croit « que les « couches anciennes de la partie nord du pays de Galles avaient « subi un grand mouvement antérieurement au dépôt du vieux grès « rouge, et que, par suite de ce mouvement, le fond des mers « voisines avait été soulevé de manière à ne point se trouver soumis « aux causes qui ont produit ce dépôt. » L'état de dislocation de la grauwacke, et les conglomérats qui, çà et là, sont intercalés entre ce terrain et le calcaire carbonifère, sur des épaisseurs souvent fort grandes, ainsi que le remarque M. Sedgwick, résultent de l'application de la force de dislocation et de l'action destructive des eaux.

Ce n'est que dans des circonstances très-favorables, pareilles à celles qui existent dans les îles Britanniques, que l'on peut suivre d'une manière satisfaisante et sur de grandes étendues, la liaison qui existe entre la grauwacke et le groupe carbonifère. Dans les localités telles que le midi de l'Angleterre et du pays de Galles (et probablement aussi les bords du Rhin), où il y a passage de l'un à l'autre de ces terrains, leur séparation ne peut être que purement artificielle; car ils ne constituent alors dans le fait que les parties supérieures et inférieures d'une masse de matières détritiques, qui se sont déposées tranquillement les unes au-dessus des autres, et il n'y a pas plus de séparation géologique possible entre ces couches, qu'il n'en existe entre les diverses assises d'un terrain quelconque, tel que le lias, par exemple; assises qui peuvent présenter des différences tout aussi importantes sous le rapport zoologique. Cette séparation, quelque artificielle qu'elle puisse être, n'en est pas moins importante, en ce qu'elle montre quels sont les points de la surface terrestre sur lesquels se sont opérés des dépôts tranquilles pendant une même période géologique; en sorte que, lorsqu'on aura rassemblé une quantité suffisante de faits, on pourra d'autant mieux juger de l'étendue relative des surfaces qui n'ont point éprouvé de dislocations pendant une même période donnée.

On croyait jadis que le vieux grès rouge ne contenait point de fossiles; mais les recherches récentes de M. Murchison dans les pays que nous venons de citer, ont prouvé que l'on trouve dans ce terrain quelques débris organiques, quoiqu'on puisse dire, en le considérant dans son ensemble, que les fossiles y sont excessivement rares. Rien ne s'opposait donc, durant cette période, à l'existence de la vie dans cette partie de la surface du globe; et la découverte de ces fossiles est tout à fait concluante; quoique, même sans ce fait, il n'y eût aucune preuve que la vie animale et végétale ne pût exister à des points même très-rapprochés de ceux où l'on voyait le vieux grès rouge n'en contenir aucune trace; car bien des circonstances avaient pu s'opposer à la conservation des débris organiques. On doit pourtant penser en général que des dépôts de sable ou de vase, formés autour des côtes ou dans des eaux peu profondes, devront contenir, toutes choses égales d'ailleurs, plus de fossiles que ceux qui se forment sous la haute mer.

Le calcaire carbonifère est le premier dépôt qui nous présente du carbonate de chaux assez pur en masses de quelque étendue, à la partie de la surface terrestre occupée aujourd'hui par l'Europe occidentale; car, quoique l'on trouve des calcaires subordonnés aux couches de la grauwacke, et que les roches arénacées de cette dernière formation résultent souvent de détritus de roches plus anciennes, cimentés par des sucs calcaires, les calcaires purs ne sont dans la grauwacke qu'en très-petites masses, relativement à celui qui forme les couches du calcaire carbonifère. Nous ne voulons pas dire que ce calcaire soit un dépôt général uniforme de cette époque, même sur la surface seulement de l'Europe; bien moins encore qu'un dépôt contemporain en Amérique ou à la Chine doive nécessairement être formé de carbonate de chaux; car une telle induction supposerait que toutes ces localités devaient être soumises, pendant une même période, à des conditions parfaitement semblables. Quoi qu'il en soit, une masse considérable de carbonate de chaux s'est déposée à cette époque dans une partie de l'Europe occidentale; l'abondance des restes organiques y est telle, qu'ils constituent quelquefois presque à eux seuls des couches entières; ce qui prouve que la vie était en plein développement sur ce point du globe à l'époque dont nous nous occupons. Il s'opéra, lors de la formation du calcaire carbonifère, un changement remarquable dans la nature des dépôts, et ce changement dut se soutenir pendant une période fort considérable. Géologiquement parlant, on peut dire que la formation de ce calcaire n'occupa que l'une des périodes nombreuses de l'histoire du globe; mais le temps nécessaire à la formation de ce

dépôt, le temps nécessaire à l'explication des phénomènes qui s'y rapportent, s'accorde si peu avec les divisions du temps que l'homme emploie habituellement, qu'il y a grande difficulté à concevoir la suite des temps qui peuvent s'être écoulés pendant la durée d'une seule même des périodes géologiques.

Les recherches de M. le professeur Sedgwick ont montré que, depuis la forêt de *Bewcastle,* en longeant la chaîne des monts *Cheviot,* jusqu'à la vallée de la *Tweed,* on exploite de la houille accompagnée de grès et de schistes, au même niveau géologique qu'occupe le calcaire carbonifère dans le midi de l'Angleterre et du pays de Galles. Ce changement dans la nature des couches ne paraît pas se produire brusquement, mais graduellement. Des couches intercalées entre le calcaire carbonifère et le terrain houiller proprement dit, qui n'ont que peu d'importance dans le midi de l'Angleterre, se développent dans le Derbyshire et l'Yorkshire, où elles contiennent des assises subordonnées de houille. En continuant vers le nord, les couches du calcaire carbonifère lui-même sont séparées par des assises de houille, de grès et de schistes, et ces assises prennent une telle importance encore plus au nord, que l'ensemble du dépôt présente tous les caractères habituels du terrain houiller proprement dit, par la disparition presque totale de la matière calcaire.[1]

Il paraît naturel de conclure de l'abondance de la houille, et des débris végétaux ne présentant aucune trace d'un long transport dans les couches qui accompagnent le combustible, qu'il devait y avoir des terres découvertes voisines du lieu du dépôt, lors de sa formation; on arriverait alors à conclure que, pendant le dépôt dans la mer du calcaire carbonifère du midi de l'Angleterre, il y avait probablement des terres découvertes à peu de distance au nord de la *Tweed* actuelle. On conclurait, en outre, qu'il s'opérait alors une élévation graduelle du fond des mers, par suite de laquelle la végétation terrestre s'étendait de plus en plus vers le sud, en sorte que ses débris formèrent les dépôts de houille qu'on exploite aujourd'hui dans le pays de Galles, le midi de l'Angleterre, la Belgique et le nord de la France; dépôts dont la continuité est cachée superficiellement par les formations du grès rouge, oolitique, crétacée et supracrétacée de ces diverses contrées.

Cette manière de voir serait rendue plus probable encore, si le dépôt d'eau douce qu'on a découvert à *Burdiehouse* près d'Édimbourg, et qui contient des restes de *Cypris,* de *Cytherina,* et, suppose-t-on, d'un saurien, se trouvait être réellement subordonné au calcaire

[1] Sedgwick, *Address to the Geological Society,* 1831.

carbonifère, ainsi que le pense le docteur Hibbert; car l'existence d'une rivière ou d'un lac d'eau douce dans lequel se serait formé ce dépôt, impliquerait nécessairement l'existence de terres émergées. Si la découverte des restes de sauriens venait à être confirmée par quelque chose de plus que la seule dent qu'on a trouvée jusqu'ici, et qu'il ne restât aucun doute sur l'étage géologique auquel ce dépôt doit être rapporté, on aurait là un fait très-intéressant, en ce qu'il prouverait que l'état de l'atmosphère n'était point contraire alors à l'existence de ces animaux, quoique nous ne puissions avoir aucun moyen de vérifier jusqu'à quel point leurs organes de la respiration différaient de ceux des reptiles actuels, et si cette différence leur permettait de respirer un air dans lequel l'acide carbonique était en plus grande quantité que dans l'atmosphère actuelle. M. Murchison avait signalé déjà l'existence d'un calcaire d'eau douce dans le terrain houiller à *Pontesbury*, à *Uffington* et autres lieux du canton de *Shrewsbury*; et comme ce dépôt indiquerait de même l'existence de terres découvertes, on aurait une seconde localité de sol émergé d'autant plus intéressante, que les couches de *Shrewsbury* étant plus récentes que celles de *Burdiehouse*, qu'on suppose équivalentes au calcaire carbonifère, on aurait là une preuve à l'appui du soulèvement graduel du sol, en venant du nord au sud, que nous avons indiqué plus haut[1]. Il ne s'ensuit nullement que ces terres découvertes dussent former un grand continent; ce pouvaient fort bien être des îles, ainsi que le pensent MM. Sternberg, Boué et Adolphe Brongniart. Il serait difficile de dire jusqu'à quel point des apparences analogues nous autoriseraient à supposer que ces terres se continuaient dans la direction du continent de l'Europe actuelle; mais il est intéressant de remarquer que des couches équivalentes au *Millstone grit* et aux *schistes calcaires* (*limestone shales*) des géologues anglais, prennent un grand développement en Westphalie, où on les connaît sous le nom de *rauher Sandstein*. Ces couches ont une épaisseur considérable à *Arnsberg*, *Merscede* et *Warstein*.

Dans quelques localités les couches de houille, ainsi que les grès et les argiles schisteuses, qui les accompagnent et qui contiennent des débris de végétaux terrestres, alternent avec des calcaires à fossiles marins, de telle sorte qu'il faut que pendant le dépôt du groupe carbonifère il y ait eu des changements dans les circonstances

[1] On supposait depuis longtemps qu'une grande partie de la houille et des couches à végétaux fossiles qui l'accompagnent avaient été déposées dans l'eau douce, parce que l'on n'y trouve point en général de fossiles marins; mais on n'avait point jusqu'ici de preuves directes de ce fait, tirées de débris d'animaux ayant indubitablement les caractères de ceux qui vivent dans l'eau douce.

qui influent sur la vie des êtres organisés, et que dans plusieurs cas ces changements se soient répétés un grand nombre de fois. Si le transport des végétaux convertis en houille, ou contenus à l'état fossile dans les couches qui l'accompagnent, s'était opéré d'une manière violente, l'aspect de ces plantes fossiles serait tout différent de celui qu'elles présentent réellement; au lieu que les moindres parties des feuilles y sont fidèlement représentées, on n'aurait qu'un entassement de débris entièrement défigurés. En outre, il est difficile d'expliquer autrement que dans le cas d'un dépôt tranquille, la position des tiges verticales ou à peu près verticales qu'on trouve sur plusieurs points du terrain houiller[1], et qui paraissent percer à travers les couches de grès et d'argile qui les ont enfouies graduellement. C'est là un fait qui ne peut guère s'expliquer que par une dépression lente des terres émergées dans des positions où elles ne se trouvaient point exposées à l'action destructive des vagues ou à celle de puissants cours d'eau; et si ces tiges verticales ou à peu près verticales étaient toujours enfouies dans des couches n'offrant aucun caractère d'origine marine, peut-être que de grands lacs, analogues à ceux de l'Amérique septentrionale, seraient les bassins dont la nature pourrait le mieux concorder avec les phénomènes observés.

Les alternances de calcaires à fossiles marins, avec des grès, des argiles schisteuses et des lits de houille qui n'offrent aucune trace d'animaux marins, paraissent difficiles à expliquer sans admettre des oscillations de la surface solide de la terre produisant des élévations et des dépressions très-lentes. Les idées de M. Babbage concernant la dilatation ou la contraction des roches, d'après les différences dans la capacité de rayonnement de la surface, pourraient nous aider dans l'explication de ce phénomène, surtout si l'on combine ces idées avec la chaleur centrale qui, suivant les diverses époques géologiques, a dû plus ou moins généraliser ces mêmes effets. Sans doute que de grandes contractions et des dislocations lentes de l'écorce terrestre, dues au rayonnement général de notre planète, doivent avoir donné lieu, sur plusieurs points de sa surface, à des alternances d'immersion et de retrait des eaux, d'après les variations de position relative entre l'écorce solide et l'eau qu'elle supporte; mais si l'on ajoute encore les changements de niveau relatif qui pourraient avoir eu lieu plus tard par la dilatation ou la contraction des roches d'après la nouvelle position qu'auraient prise les grandes masses, on arrivera d'autant plus facilement à une explication satisfaisante des faits observés.

[1] *Manuel géologique* : Groupe carbonifère.

Il serait extrêmement difficile d'assigner les limites, même probables seulement, des terres de l'Europe actuelle qui correspondraient à celles qui étaient émergées à l'époque de la formation du groupe carbonifère; surtout si l'on se souvient que ce qu'on appelle une époque géologique peut comprendre un laps de temps indéfini; et qu'ainsi le sol pourrait être élevé ou déprimé, être dégradé ou remblayé, par des actions tantôt du même ordre que celles dont nous sommes témoins tous les jours, tantôt d'une intensité plus grande, et tous ces phénomènes être compris dans une même époque géologique, pendant laquelle se serait formé un groupe de couches particulier.

Dans une grande partie de l'Angleterre, dans le centre et le midi surtout, le groupe du grès rouge repose sur le carbonifère d'une manière qui prouve que ce dernier avait été dérangé, disloqué, et en partie détruit, avant que les couches du grès rouge vinssent le recouvrir. Mais il y a grande raison de croire que sur d'autres points de la surface de l'Europe actuelle, les sédiments continuèrent à se déposer tranquillement à la surface des couches carbonifères qui n'avaient subi aucun mouvement, en sorte qu'on ne peut établir de ligne de séparation bien marquée entre ces deux dépôts. Ce ne serait là, au fait, qu'une répétition de ce qui avait eu lieu entre le dépôt de la grauwacke et celui du groupe carbonifère, où nous avons vu une partie du premier de ces groupes disloquée avant la formation du second, tandis que sur d'autres points il paraissait y avoir passage entre les deux dépôts. Il est naturel que, si des terres découvertes ont continué pendant longtemps à se trouver à proximité des dépôts non disloqués, les débris végétaux pourront s'en accumuler dans les criques, les embouchures des rivières, les deltas et autres situations analogues; il n'est donc point improbable que la houille de quelques parties de l'Europe, celle de la basse Silésie, et de la Bohême surtout, puisse être de l'âge de quelques-unes des assises du grès rouge, sans que nous voulions appuyer cet argument de la couleur rouge que les grès houillers prennent souvent, couleur qui peut n'être qu'un phénomène accidentel.

On ne peut qu'être frappé de la puissance et de l'étendue d'un terrain tel que le *Rothe Todtliegendes* (le membre inférieur du groupe du grès rouge), remarquable souvent par les fragments de roches préexistantes qu'il contient, fragments dont le volume fait de ces couches un véritable conglomérat, dans lequel abondent, par places, des fragments de porphyre. Dans le Devonshire les blocs de porphyre contenus dans les grès atteignent des dimensions prodigieuses, équivalentes à un poids de trois ou quatre ton-

neaux. Nous ne répéterons pas ici ce que nous avons dit ailleurs[1] sur les preuves d'un bouleversement violent qui aurait eu lieu dans cette partie de l'Angleterre; nous dirons seulement qu'on a d'excellentes occasions d'en étudier les effets sur les côtes entre *Babbacombe* et *Dawlish.*

Le *Rothe Todtliegendes* de l'Europe occidentale contient peu de débris organiques. Au-dessus de cette masse de grès, marnes et conglomérats rouges, provenant d'une grande destruction, sur des surfaces étendues, des roches préexistantes, accompagnée de circonstances qui ont donné au nouveau dépôt une teinte rouge générale, on trouve le zechstein ou calcaire magnésien, qui est le second des membres de la série de couches qui composent le groupe du grès rouge. C'est là un dépôt calcaire d'un aspect assez variable; mais dont la partie inférieure, qui porte le nom de schiste marneux, ou de schiste cuivreux (*Kupferschiefer*), s'étend de l'Allemagne en Angleterre d'une manière qui est surtout frappante d'après la petite épaisseur de ces schistes. Le zechstein contient des fossiles; les *Productus* y paraissent pour la dernière fois, ou du moins on n'en a point trouvé jusqu'ici de plus élevés; et il est bien authentiquement prouvé qu'un saurien, analogue aux monitors de nos jours, vivait alors dans des localités voisines de celles où sont situés aujourd'hui *Mansfeld, Rothenbourg* sur la *Saale, Glücksbrunn,* etc. On peut en conclure qu'il existait en même temps des terres émergées dans cette partie de la surface de l'Europe actuelle. Le schiste cuivreux est remarquable par l'abondance des poissons d'un genre particulier (*Palæothrissum,* Blainville; *Palæoniscus,* Agassiz), qui s'y trouvent, aussi bien dans le nord de l'Angleterre qu'en Allemagne. Ce n'est pas une chose extraordinaire par elle-même, que de trouver les mêmes poissons dans des localités si peu éloignées, pas plus qu'il n'est étonnant de trouver aujourd'hui des harengs sur les côtes de France et de Norwége à la fois; mais les espèces du schiste cuivreux appartiennent à une famille qui, d'après les recherches de M. Agassiz, n'a plus de représentants au-dessus du groupe du grès rouge. Cet auteur croit que les genres *Acanthodes, Catopterus, Amblypterus, Palæoniscus* et *Platysomus,* qui font partie de la famille des *Lepidoïdes* (famille dont il n'existe aujourd'hui aucune espèce vivante), ne se retrouvent plus au-dessus de ce groupe.[2]

On n'a point trouvé jusqu'ici de trilobites dans le zechstein; on avait cru pendant longtemps que les espèces de cette famille ne se rencontraient point au-dessus du calcaire carbonifère; mais M. Pres-

[1] *Manuel géologique :* Groupe du grès rouge.

[2] Agassiz, *Recherches sur les poissons fossiles,* tom. 2, p. 3. Neufchâtel, 1833.

twich en a trouvé dans les rognons du terrain houiller proprement dit de *Coalbrook Dale*. Les espèces en diffèrent de celles des terrains plus anciens ; cependant cet exemple peut conduire à supposer qu'on pourra trouver plus tard, même en Europe, des espèces de cette famille jusque dans le zechstein, puisque ce dépôt a une ressemblance zoologique générale avec les terrains qui lui sont inférieurs, tandis qu'il diffère considérablement, sous le même rapport, des couches qui lui sont immédiatement superposées.

Le zechstein ne paraît pas avoir recouvert de grandes surfaces en Europe ; on l'a reconnu surtout, jusqu'ici, en Allemagne et en Angleterre. Il paraît simplement qu'à une époque donnée il se déposait du calcaire sur certains points et non sur les autres. On devrait s'attendre à y trouver des restes organiques ; car, lorsque des calcaires se présentent comme le zechstein, on a plus de chances d'y rencontrer des fossiles que dans les autres couches qui peuvent leur être associées ; bien entendu qu'il ne s'agit point ici de végétaux, qui, pris en masse, se trouvent en plus grande quantité dans les marnes et argiles schisteuses et dans les grès, que dans les calcaires.

Le zechstein est recouvert par une série de couches de grès et de marne, qui présentent des teintes rouges, bleues, blanches et vertes, et qui en ont reçu le nom de grès bigarré (*variegated sandstone ; bunter Sandstein*). Mais il ne faut point croire que ce soit là une circonstance particulière aux couches de cette formation. Les mêmes apparences se retrouvent fréquemment dans différents dépôts arénacés, depuis la grauwacke jusqu'aux terrains les plus récents ; elles paraissent être dues simplement aux divers degrés d'oxidation, dans les diverses couches, du fer, et peut-être quelquefois du manganèse ; on doit donc s'attendre à trouver de ces bigarrures dans les terrains de tout âge. Le grès bigarré ne contient pas une grande quantité de fossiles. On y a trouvé des plantes en Alsace et en Lorraine, et il est à remarquer qu'elles diffèrent de celles du terrain houiller.

Il est presque inutile d'observer que, puisque l'ensemble du grès rouge se compose en très-grande partie de matériaux qui doivent, avant leur dépôt, avoir été tenus dans l'eau en suspension mécanique, on doit s'attendre à y trouver de grandes variations au même niveau géologique : on peut avoir ici des argiles ou des marnes, là des grès ou des conglomérats ; tandis que des parties calcaires peuvent être disséminées parmi les autres roches, et devenir assez dominantes, quelquefois, pour constituer à elles seules des couches nombreuses. On doit donc s'attendre à trouver de grands changements dans la nature des couches du grès rouge, et ces changements existent en effet ; mais souvent on les néglige, parce qu'il

ne s'agit que de variations entre des marnes ou des grès, des grès ou des conglomérats. Au contraire, dès qu'il s'agit de couches calcaires, le changement dans la nature du dépôt est si frappant, et la roche elle-même est employée à tant d'usages dans les arts, que l'on note de suite ce changement parmi les faits géologiques dont il importe de tenir compte. En outre, ces couches calcaires attirent l'attention par les restes organiques qu'elles renferment généralement, et l'on est d'autant plus porté à ne point les négliger. Le muschelkalk est un dépôt calcaire de cette nature, qui occupe des surfaces plus étendues que le zechstein, mais qui ne se prolonge point jusque dans les îles Britanniques; du moins n'y en a-t-on pas encore trouvé de traces, malgré le grand développement que prend dans ces îles le groupe du grès rouge.

Le muschelkalk, là où il existe, présente généralement des passages insensibles aux couches qui lui sont supérieures et inférieures; rien n'indique dans ces passages une action mécanique violente; tout, au contraire, tend à prouver que le dépôt des diverses couches a continué à se faire dans ces localités de la manière la plus tranquille, et que tout le changement a consisté dans la nature des sédiments, qui d'arénacés sont devenus calcaires, et *vice versa*. Il paraîtrait qu'il y a eu à cette période un changement considérable dans l'organisation animale, autant du moins qu'on peut en juger par les fossiles découverts jusqu'ici dans le muschelkalk; ce qui, au reste, n'est qu'une preuve négative et sujette à de grandes erreurs. Une circonstance remarquable dans les caractères zoologiques de ce terrain, c'est l'absence du plus grand nombre des polypiers; car, jusqu'ici, on n'y en a trouvé qu'une seule espèce, l'*Astrea pediculata*. Les sauriens y deviennent plus communs, ou du moins les débris de cette famille s'y sont conservés en plus grande abondance; et nous y trouvons les genres crocodile, plésiosaure, et ichthyosaure, dont le premier (s'il est bien constaté que les ossements du muschelkalk qu'on attribue au crocodile lui appartiennent réellement) a continué, comme genre, à vivre à la surface du globe depuis ces périodes anciennes jusqu'à nos jours, tandis que les deux autres ont disparu, autant qu'on en peut juger, avant le dépôt des terrains supracrétacés, dans lesquels du moins on n'a jamais, jusqu'ici, trouvé de leurs débris.

Il existe au-dessus du muschelkalk un étage marneux, auquel sont subordonnées des assises de grès; ces marnes ont reçu le nom d'irisées (*variegated marls*), d'après les diverses nuances bleues, vertes, blanches et rouges qu'elles présentent. On a surtout trouvé des fossiles dans ce terrain, en Wurtemberg, en Alsace, en

Lorraine, dans les environs de *Boll*, et autres pays voisins. On y a découvert deux genres de sauriens qui ne se trouvent pas dans les terrains inférieurs, le *Phytosaurus* et le *Mastodonsaurus;* on y trouve encore le même ichthyosaure (*I. Lunevillensis*) que dans le muschelkalk, et un plésiosaure. On peut conclure de la présence de ces animaux, et de celle des coquilles qui les accompagnent et dont les congénères vivent aujourd'hui près des rivages et dans des mers peu profondes, que la terre n'était pas fort éloignée des localités dans lesquelles ces fossiles se rencontrent aujourd'hui; ce qui est confirmé encore par les végétaux terrestres dont on trouve des restes dans les mêmes localités.

Il est à remarquer, en ce qui regarde la surface de l'Europe, que les assises supérieures du groupe du grès rouge renferment souvent du sel gemme, circonstance qui leur a quelquefois valu le nom de *terrain salifère;* nom qu'on ne peut adopter, en ce qu'il impliquerait soit que le sel se déposât à cette époque plus qu'à d'autres, ou même qu'il se trouvât exclusivement dans ce terrain. On est bientôt convaincu que la première de ces suppositions est tout à fait dénuée de preuves, si on a égard à la surface entière du globe et non à une petite fraction de cette surface telle que l'Europe : quant à la seconde, on a la certitude, même en Europe, de sa fausseté; car on y a trouvé du sel dans d'autres terrains et même dans les supracrétacés. Il est remarquable que le sel, le gypse et la dolomie ou plutôt un calcaire magnésien, soient si fréquemment associés avec des marnes et des grès irisés, dans les diverses parties du monde. Nous savons que plusieurs de ces associations de roches appartiennent à des époques géologiques différentes, et nous en sommes autorisés à conclure que plusieurs autres, qu'on a supposées d'une même époque, seulement d'après la ressemblance générale de leurs caractères minéralogiques, pourraient bien aussi être d'âge différent. Plusieurs terrains des diverses parties du monde présentent ces caractères, et nous pouvons en conclure que les surfaces qu'ils occupent se trouvaient dans des circonstances analogues lors du dépôt de ces terrains. Il s'ensuit que si l'on pouvait connaître, au moins par approximation, les causes qui ont donné lieu à l'un de ces dépôts, on pourrait plus facilement arriver aux causes qui ont produit les autres, et conclure qu'une portion donnée de la surface de notre planète peut s'être trouvée à une ou plusieurs époques géologiques, suivant le cas, dans des circonstances données semblables.

Les groupes carbonifères et du grès rouge de l'Europe nous ont offert une série de couches détritiques, à la partie inférieure desquelles avait été ensevelie une grande masse de végétaux. Des dislo-

cations locales ont interrompu çà et là le dépôt tranquille de cette série continue de couches, en sorte qu'on peut s'attendre à trouver toute assise de la partie supérieure du groupe reposant en stratification discordante sur des couches inférieures disloquées. La plus grande partie des couches qui composent ces groupes, ayant, suivant toute apparence, été produites par l'action de transport des eaux, on ne peut guère supposer que les couches elles-mêmes se continuent à de bien grandes distances; l'une doit s'amincir, se terminer en coin et être remplacée par une autre; en sorte qu'on peut avoir, ainsi que nous l'avons déjà fait observer, des couches contemporaines équivalentes qui n'auraient aucune ressemblance minéralogique entre elles, et qui peuvent de même contenir des fossiles différents, surtout à de grandes distances, offrant sur un point une grande quantité de fossiles terrestres, et ailleurs des débris marins; la différence des circonstances ayant nécessairement donné lieu à des résultats différents. Il est évident qu'il serait extrêmement hasardé de regarder les houilles de l'Australie, des Indes, de l'Amérique et de l'Europe comme étant précisément du même âge, uniquement parce que les grès et les argiles schisteuses qui les accompagnent sont en général semblables. Quand même quelques-uns des divers dépôts de houille de chacun de ces pays seraient contemporains, ce qui peut fort bien être, il serait tout aussi hasardé de conclure qu'il n'existerait pas aussi d'autres dépôts contemporains qui pourraient différer entièrement des premiers, soit minéralogiquement, soit zoologiquement, et qui ne contiendraient pas la moindre trace de végétaux terrestres.

CHAPITRE XVI.

On trouve au-dessus du groupe du grès rouge une accumulation de sables, grès, marnes, argiles et calcaires, à laquelle on a donné le nom de groupe oolitique, parce que quelques-unes des assises calcaires de ce groupe offrent en effet la texture oolitique. Ce n'est là absolument qu'un terme de convention, comme ceux de *groupe carbonifère, groupe du grès rouge*, etc.; car il y a bien des calcaires qui sont oolitiques en dehors de ce groupe. Un grand changement devait s'être passé au commencement de la période oolitique à la surface occupée par l'Europe actuelle. Les eaux qui charriaient les détritus devaient être surchargées de carbonate de chaux; car il y a bien peu de dépôts de cette période qui ne contiennent du calcaire. Les animaux marins étaient excessivement abondants sur une grande partie de la surface de l'Europe; car quelques-unes des couches de l'époque sont composées presque exclusivement de débris de coquilles et de coraux. Si l'on considère l'ensemble de la formation, on trouve qu'il devait régner une grande tranquillité relative sur une grande partie de la surface de l'Europe lors du dépôt du groupe oolitique. Il devait y avoir, à peu de distance, des terres découvertes; car on trouve dans les assises de ce groupe des plantes terrestres qui n'ont pas subi de longs transports, et des accumulations de ces végétaux constituent sur quelques points des lits de combustible.

Les reptiles devaient être fort communs, puisque leurs débris sont si abondants, et les travaux des botanistes prouvent que la végétation de cette époque était, en Europe, totalement différente de celle des périodes plus anciennes. D'après tous les faits connus aujourd'hui, l'ensemble des plantes devait offrir un tout autre aspect. « La proportion des Fougères était moindre; les Lycopodiacées « gigantesques et les plantes cactoïdes du terrain houiller, les « Calamites et les Palmes avaient toutes disparu : on ne voyait « plus ce luxe de végétation qui caractérisait les époques anté- « rieures; mais il paraît qu'il existait en abondance des espèces « appartenant sans aucun doute à la famille des Cycadées et d'au- « tres plantes de genres analogues à ceux qui vivent aujourd'hui

« au cap de Bonne-Espérance et à la Nouvelle-Hollande. Les Conifères étaient toujours encore fort abondantes, mais les espèces « en différaient de celles des périodes antérieures. Il ne paraît « point qu'il existât d'autres dicotylédones que ceux de la famille « des Cycadées et des Pins.[1] » Le trait zoologique le plus frappant dans les assises de ce groupe est l'immense quantité des Ammonites et des Bélemnites qui doivent avoir existé avant et pendant le dépôt de ces assises; car, malgré les chances ordinaires de destruction auxquelles ces animaux étaient nécessairement exposés, des myriades de ces coquilles ont été ensevelies entières, et souvent l'animal devait être encore dans sa coquille lors de son enfouissement[2]. D'après les analogies connues, on suppose que ces animaux nageaient librement dans l'océan, et ils devaient pulluler dans les mers qui recouvraient la surface occupée aujourd'hui par les terrains oolitiques. L'existence de ces animaux ne peut nous indiquer quelle était la profondeur probable de l'eau de ces mers; mais comme ils sont associés souvent avec des espèces marines dont les congénères vivent aujourd'hui sur des bas-fonds ou dans des mers peu profondes, nous n'avons aucune raison de supposer lors de l'époque oolitique l'existence d'un océan très-profond; au contraire, nous devons croire à celle d'une mer peu profonde.

Le lias qui forme la partie inférieure du groupe oolitique est remarquable par l'uniformité de caractères qu'il présente sur une grande partie de l'Europe occidentale. Dans quelques localités il paraît y avoir passage des assises de marnes irisées à celles du lias; dans d'autres, et c'est le cas en Angleterre, il y a eu une interruption dans les dépôts à un instant donné. Les détritus dont est provenu le lias devaient être extrêmement atténués, et contenir parfois des matières calcaires, surtout à la partie inférieure de la formation, et cela sur une surface qui s'étendait sur une partie considérable de l'Europe actuelle. Parmi les reptiles qui paraissent avoir abondé à l'époque du lias, on en trouve qui devaient vivre près des

[1] *Lindley and Hutton's Fossil Flora of Great Britain;* Préface, vol. 1.

[2] On cite 173 espèces d'Ammonites et 65 de Bélemnites comme se trouvant dans le groupe oolitique. Il y a probablement erreur quant au nombre exact des espèces de ces deux genres, car on a quelquefois considéré des individus d'âge différent comme appartenant à des espèces différentes, et peut-être même qu'on exagérait encore les différences tenant à l'âge, par le désir de former de nouvelles espèces; cependant le nombre des espèces bien distinctes doit être fort considérable. Au reste, quelque grand que soit ce nombre, celui des individus qui se trouvent à l'état fossile, dans le groupe oolitique, est plus remarquable encore.

terres, dans des criques, des baies et d'autres places abritées; tels sont les ptérodactyles, les plésiosaures et les crocodiles. Des plantes, souvent bien conservées, paraissent indiquer qu'il y avait des terres à peu de distance. On est porté dès lors à rechercher dans quelles situations devaient exister ces terres; mais les données nous manquent pour une telle détermination. On peut bien présumer que les grauwackes de la Normandie et de la Bretagne étaient au-dessus du niveau des eaux de cette période; puisque les couches oolitiques reposent horizontalement sur les tranches des premières et en comblent les inégalités; et l'on est en droit de conclure qu'il en est de même dans les autres pays. Mais le sol de l'Europe a été tellement disloqué par des causes intérieures, sa surface a été si souvent ravinée par l'action des eaux, depuis le dépôt du lias et du groupe oolitique tout entier, que des recherches de ce genre ne peuvent avoir de bien grands résultats.

Les restes des sauriens du lias, soit d'Angleterre, soit d'Allemagne, n'ont le plus souvent aucune apparence d'avoir subi les effets de la décomposition avant leur enfouissement; plusieurs squelettes d'ichthyosaures paraissent prouver au contraire, d'après les restes d'aliments contenus entre les côtes à la place de l'estomac, et d'après les traces de peau qui recouvrent leurs ossements, que leur mort doit avoir été promptement suivie de leur ensevelissement dans les matières détritiques du lias, si même ils n'ont pas été souvent enfouis à l'état de vie. Le lias contient fréquemment une grande quantité d'excréments des divers animaux qui existaient alors; et il arrive souvent que ces coprolites sont disposés par lits à différents niveaux, comme si le fond vaseux de la mer avait été brusquement recouvert de temps en temps par une charge de détritus qui venait enfouir les coprolites et autres débris qui s'étaient accumulés dans les intervalles de tranquillité.

Les limites de cet ouvrage ne nous permettent point de nous étendre sur les conséquences que l'on pourrait tirer des différents faits que l'on connaît touchant le groupe oolitique; nous pouvons à peine jeter un coup d'œil sur son ensemble. Le lias de l'Europe occidentale peut être regardé comme un dépôt de matières détritiques très-atténuées, dans lesquelles la matière calcaire, quoique assez répandue, n'a été que rarement en quantité suffisante pour produire des couches réglées. Les sables de l'oolite inférieure, auxquels le lias passe à sa partie supérieure, occupent une surface considérable qui s'étend du nord au midi de l'Europe; les causes qui les ont produits doivent donc avoir été aussi générales que celles du lias, et en même temps le caractère minéralogique des

nouvelles couches prouve qu'un changement général s'était opéré au fond de la mer dans laquelle elles se déposaient; la vase passait petit à petit au sable, et enfin au calcaire, qui a formé plus tard les couches de l'oolite inférieure elle-même. Il existe bien aussi de la matière calcaire dans les sables, mais nous ne pouvons savoir si elle s'y trouvait dès l'instant de leur dépôt, ou bien si elle s'y est infiltrée plus tard lors du dépôt des calcaires oolitiques. Depuis l'Angleterre jusqu'à la chaîne du Jura, on trouve, par places, dans l'oolite inférieure, des amas de grains ou de petits rognons de fer hydraté ou oxidé, qui dans le département de la Haute-Saône prennent un tel développement qu'ils y sont l'objet d'exploitation pour les usines à fer.

La subdivision suivante du groupe oolitique offre un grand intérêt, en ce que les restes organiques qu'elle contient indiquent à cette époque la proximité des terres, depuis le nord de l'Angleterre et l'Écosse jusqu'à l'Allemagne. Des plantes terrestres abondent dans ces localités, et elles sont quelquefois accumulées en quantités suffisantes pour produire des lits de combustible. M. Murchison croit avoir reconnu dans ces assises des tiges verticales d'*Equisetum columnare* en assez grande quantité et sur des surfaces assez étendues, pour en être autorisé à conclure qu'une portion considérable du sol s'enfonçait graduellement, de sorte que ces plantes ont pu être ensevelies tranquillement par la matière qui s'accumulait autour de leurs tiges. Les couches qui paraissent, dans le sud de l'Angleterre, être l'équivalent du terrain à végétaux terrestres du Nord, présentent des fossiles marins et une grande abondance de calcaire: ces assises sont groupées par les géologues de manière à former des associations partielles, qui sont connues (en allant de bas en haut) sous les noms de *terre à foulon* (*Fuller's earth*), *grande oolite* ou *oolite de Bath*, *argile de Bradford*, *marbre de Forest* (*Forest marble*) et *cornbrash*. M. Lonsdale a reconnu un fait très-intéressant, savoir, que l'accumulation remarquable de restes organiques de Stonesfield, parmi lesquels on a trouvé les seuls débris de mammifères que l'on ait jamais découverts au-dessous du groupe supracrétacé, est située à la partie inférieure de la grande oolite. On a rapporté ces débris de mammifères aux Didelphes ou à un genre voisin, et on croit y avoir reconnu deux espèces différentes. Ils sont accompagnés de débris de végétaux terrestres, de coquilles marines, d'un immense saurien, le *Megalosaurus Bucklandi*, et d'ossements qui ont appartenu probablement à un reptile terrestre ailé, le ptérodactyle. On peut donc conclure qu'immédiatement après la période de l'oolite inférieure, et pendant le dépôt de la grande oolite de l'Angleterre

méridionale, il existait des terres découvertes vers la partie de la surface qui est occupée aujourd'hui par le centre de l'Angleterre. Ces terres pouvaient constituer des îles, et elles étaient probablement entourées de récifs étendus de coraux, puisque les polypiers sont communs dans la partie supérieure de la grande oolite elle-même, soit dans l'Angleterre méridionale, soit en Normandie.

Après cette période une grande partie de la surface oolitique fut probablement submergée de nouveau, car on trouve au-dessus des couches à fossiles terrestres, si communes dans le nord de l'Angleterre et une partie de l'Allemagne, une masse d'argile qui se continue sur de grandes étendues et contient des fossiles marins. Cependant, comme l'on y découvre souvent des restes de sauriens, et particulièrement de crocodiles, on peut supposer qu'il existait des terres sur différents points de cette surface, quoique le changement de position relative entre la terre et la mer eût donné lieu sur quelques points à des différences physiques telles que les nouveaux dépôts étaient en général argileux, et qu'il ne se faisait plus de ces grandes accumulations de végétaux dans des localités particulières. Toutefois des matières arénacées vinrent recouvrir les argiles sur une très-grande étendue et former un grès calcaire (connu en Angleterre sous le nom de *lower calcareous grit*), qui fut suivi par un dépôt calcaire qui a reçu le nom de *Coral rag*, d'après l'abondance des polypiers qui s'y rencontrent. Une grande quantité de coraux étaient donc venus former des récifs sur la surface qui avait jadis été couverte d'une vase profonde, après cependant que des matières arénacées s'étaient accumulées sur cette vase. Ce changement dans la nature des dépôts est fort remarquable en lui-même, mais il l'est encore davantage en ce qu'il se répète en quelque sorte au-dessus du *Coral rag*, qui est d'abord recouvert par un dépôt arénacé (le grès calcaire supérieur, *upper calcareous grit*), auquel succède une autre accumulation de vase (l'argile de *Kimeridge*); celle-ci est recouverte à son tour par des sables (sables de *Portland* ou de *Kimeridge*), et le groupe oolitique se termine enfin par des couches calcaires (l'oolite de *Portland*).

Il ne faut point supposer que de tels changements dans la nature du fond d'une mer occupant une étendue donnée, eussent lieu sur toute cette étendue à la fois; mais on est pourtant frappé de la grandeur des surfaces sur lesquelles on a reconnu les différentes assises ci-dessus. Les couches d'argiles conservent les mêmes caractères généraux sur des étendues plus grandes que celles des sables et des grès, ainsi qu'on devait s'y attendre d'après l'atténuation des détritus qui les ont produites, et les dépôts

calcaires ne conservent leur uniformité de structure que sur des surfaces moindres encore que celles des sables. Il y a nécessairement un grand nombre de petites différences qui proviennent de l'action de causes secondaires; mais les caractères généraux de tout le groupe oolitique se soutiennent avec une constance remarquable sur une grande partie de l'Europe occidentale.

On ne peut guère douter que ce groupe ne s'étende dans diverses contrées de l'Europe orientale, où il acquiert une grande puissance, et comprend des grès, des marnes et des schistes ayant un aspect tout différent de celui de leurs équivalents dans l'Europe occidentale. Il paraît certain aussi qu'il constitue une grande partie des Alpes calcaires, et qu'il s'étend en Italie et dans le sud-est de l'Europe. Son aspect minéralogique, dans ces dernières contrées, est presque celui des couches de la grauwacke, ce qui montrerait que les diverses parties de la surface de l'Europe actuelle ont subi, depuis cette époque, des modifications différentes donnant un aspect différent à des terrains contemporains. Tandis que la partie occidentale des terrains oolitiques est caractérisée par une grande abondance de fossiles, on n'en trouve qu'en très-petite quantité dans la partie orientale. On est porté à supposer dans l'une de ces positions une mer peu profonde, coupée peut-être par des terres, tandis que dans l'autre on avait des eaux plus profondes et moins de terres.

On ne peut omettre de mentionner ici cette singulière réunion de débris organiques dans certains calcaires connus sous le nom de schistes lithographiques, et qui se trouvent à *Pappenheim*, à *Solenhofen* et à *Monheim* près d'*Eichstædt*. On les regarde comme constituant la partie la plus élevée de la série oolitique en Allemagne. On a trouvé dans ces couches six espèces de ce reptile volant extraordinaire, le ptérodactyle, et avec ces animaux les restes d'insectes nombreux (*Libellula*, *Æschna*, *Agrion*, *Myrmeleon*? *Sirax*? et *Solpaga*?) qui leur servaient probablement de proie. On y trouve encore, parmi la classe des reptiles, des restes de *Geosaurus*, *Lacerta*, *Rhacheosaurus*, *Ælodon* (*Crocodilus*, Jæger) et de *Pleurosaurus*. On peut en conclure que la terre n'était pas éloignée. Parmi les crustacés, on a trouvé, dans les mêmes assises, des *Pagurus*, *Eryon*, *Scyllarus*, *Palæmon* et *Astacus*, qui vivaient probablement le long des côtes. Il y a aussi différents mollusques, entre autres des *Aptychus* (Meyer), animaux d'une forme singulière. On peut facilement admettre que tout ce dépôt se faisait sur une côte où l'eau était peu profonde, tandis que les ptérodactyles poursuivaient leur proie sur le rivage. Les végétaux qu'on a trouvés dans ces couches sont marins, et on conçoit qu'ils ont pu aisément être

enfouis dans cette position, comme le seraient de nos jours des fucus dans des positions semblables. Les couches de Solenhofen acquièrent plus d'intérêt encore lorsqu'on réfléchit que l'on a des preuves de l'existence de terres dans l'Angleterre méridionale immédiatement après le dépôt de l'oolite de Portland, et qu'une grande accumulation de sables et argiles, connue sous le nom de *Terrain de Weald*, montre que des terres ont continué à exister dans la même localité pendant une période considérable; car, quoiqu'il soit fort possible que les schistes de Solenhofen ne soient pas précisément contemporains des dépôts wealdiens, ils n'en prouvent pas moins qu'à des époques fort rapprochées il existait des terres sur des points occupés aujourd'hui par une partie de la Bavière et par la partie sud-est de l'Angleterre.

Il suffit de prendre à la main un globe terrestre de dimension ordinaire, pour voir combien est peu étendue la portion de la surface terrestre dont nous venons de parler comme occupée par le groupe oolitique. Il n'y a point de doute qu'il se déposait des terrains contemporains sur plusieurs autres points du globe; et il y a quelque raison de croire qu'on a trouvé dans la chaîne de l'Himalaya des couches contenant des fossiles analogues à ceux d'Europe. Il faudra néeessairement un temps considérable et des observations multipliées, avant que les géologues puissent embrasser d'un seul coup d'œil, pour ainsi dire, une partie un peu considérable de la surface terrestre; avant qu'ils puissent même raisonner avec quelque apparence de précision sur l'état probable d'une cinquantième partie de cette surface pendant une période donnée quelconque. Mais il n'en est pas moins prouvé par les faits connus du groupe oolitique que pendant le dépôt des terrains de ce groupe, la nature des matériaux déposés et des débris organiques qu'ils renferment, était considérablement différente de celle qui avait existé à la même partie de la surface terrestre pendant le dépôt des assises du grès rouge. Le carbonate de chaux est plus abondant dans le groupe oolitique que dans celui qui le précède; et c'est même un fait remarquable que la grande étendue relative qu'occupent les calcaires de cette époque. Les observations futures montreront jusqu'à quel point on trouve des terrains équivalents dans les autres parties de l'hémisphère boréal; et il sera fort intéressant de voir, lorsque les faits connus se multiplieront, jusqu'à quel point la distribution des êtres vivants, pendant l'époque oolitique, présentait une uniformité générale, ou s'il y avait déjà quelques pas de faits vers la diversité actuelle de distribution, en supposant que l'uniformité eût été la plus grande lors du dépôt des

premiers terrains fossilifères. Jusqu'à présent il paraît reconnu qu'on n'a point découvert en Amérique de terrains équivalents au groupe oolitique; mais il reste encore à examiner une telle portion de ce vaste continent, qu'on ne peut jusqu'ici tirer aucune conclusion consciencieuse des faits particuliers qu'on y a observés.

On a des preuves que la surface immédiate du groupe oolitique a été à découvert au-dessus des eaux dans le *Buckinghamshire*, la vallée de *Wardour*, les environs de *Weymouth* et dans le Boulonnais, et qu'il y croissait des plantes analogues à celles qui habitent aujourd'hui les climats chauds. Dans les environs de *Weymouth* ces plantes sont encore enracinées dans le sol sur lequel elles ont végété, ou couchées sur ce même sol, quoique recouvertes par des dépôts plus récents. Le sol ainsi conservé porte le nom de *couches de boue* (*dirt-bed*); il paraît exister deux ou trois de ces *dirt-beds*, et l'on y trouve accidentellement des cailloux arrondis ayant appartenu aux couches inférieures : rien n'indique pourtant une action générale violente des eaux à la surface des couches de Portland sur lesquelles reposent les *dirt-beds*, en sorte qu'on peut regarder ces cailloux comme dus à des causes analogues à celles qui agissent constamment sur les rivages et dans les rivières. Comme le tout repose sur des couches pétries de fossiles marins, il faut que la croissance des plantes terrestres ait été précédée dans ces localités d'un soulèvement du terrain qui les supporte.

Au-dessus de ces terres il s'est déposé plus tard une série de couches caractérisées par la présence de fossiles terrestres, d'eau douce ou d'embouchures; et comme ce terrain est surtout développé dans le canton du Sussex nommé le *Weald*, il en a reçu le nom de *terrain de Weald*. On ne saurait dire quelle est exactement l'étendue des dépôts ainsi caractérisés, car ils ont été recouverts par les terrains crétacés, et ce n'est que par la dénudation qui a enlevé ces derniers que l'on a pu arriver à connaître l'existence du terrain wealdien. Les couches de ce terrain occupent une surface étendue dans le *Weald du Sussex;* elles y ont été portées au jour par un soulèvement du sol, suivi d'actions qui ont fait disparaître les couches crétacées qui les recouvraient. Autant qu'on peut en juger, la partie sud-est de l'Angleterre paraît avoir été alors le fond de l'embouchure d'une rivière charriant des détritus qui venaient envelopper les débris organiques que nous avons cités plus haut. Nous avons vu qu'il existait des terres aux environs de Weymouth immédiatement avant le dépôt du terrain de Weald; et il ne paraît point, d'après l'ensemble des faits, que les couches wealdiennes s'étendissent de beaucoup au delà de ce point, car en allant vers

l'Ouest, les couches de la formation crétacée reposent transgressivement sur les diverses assises du groupe oolitique.

Le terrain de *Weald* se compose, en allant de bas en haut, d'abord de diverses couches calcaires qui alternent avec des marnes et qu'on nomme *couches de Purbeck* (*Purbeck beds*); puis d'assises nombreuses de sables et grès, souvent ferrugineux, mêlés quelquefois de marnes schisteuses (*shales*), qui portent le nom de *sables de Hastings*, et enfin d'une argile connue sous le nom d'*argile wealdienne*. C'est au docteur Fitton que l'on doit la connaissance de la véritable nature de cette série remarquable de couches; c'est lui qui a démontré qu'il devait y avoir à cette époque et sur cette partie de la surface de l'Europe une grande embouchure, ou un bassin analogue d'eaux saumâtres ou douces. Les débris organiques contenus dans ces couches, quoique d'espèces peu nombreuses, n'en sont pas moins fort intéressants. Les travaux de M. Mantell nous ont appris qu'un reptile monstrueux, dont l'ostéologie et surtout les dents se rapprochent de l'iguane plus que de tout autre des animaux vivants de nos jours (et qui en a reçu le nom d'*Iguanodon*), rampait sur les bords de ce lac ou de cette embouchure, se nourrissant probablement des plantes qui l'accompagnent aujourd'hui à l'état fossile. Les autres reptiles du terrain wealdien n'étaient pas moins remarquables; car l'embouchure et ses bords étaient habités par l'*Hylæosaurus* (autre reptile dont nous devons la connaissance à M. Mantell), le *Megalosaurus* et le *Plesiosaurus*, tous genres qui ont cessé d'exister à la surface de la terre. Nous avons vu que les deux derniers genres se trouvaient fossiles déjà dans des couches plus anciennes; mais les genres *Iguanodon* et *Hylæosaurus* paraissent pour la première fois dans le terrain de *Weald*, du moins ne les a-t-on point rencontrés jusqu'ici dans des terrains inférieurs. On ne peut point affirmer cependant que ces animaux n'aient point été créés avant l'époque dont il s'agit; car vivant, à ce qu'il paraît, sur la terre émergée, leurs ossements avaient bien moins de chances d'être conservés que ceux des animaux marins; en outre, nos observations ne portent encore que sur quelques points de la surface terrestre; et il ne faut point oublier qu'outre le concours de circonstances favorables pour l'enfouissement des débris organiques, il faut encore d'autres circonstances favorables pour mettre au jour ces débris sur des points où on puisse les examiner. Avec les genres perdus du terrain wealdien on trouve des restes de Crocodiles, de Trionyx, d'Émydes et de Chélonies, en sorte que les reptiles devaient être très-abondants dans la contrée où ces dépôts se sont accumulés.

Si l'on admet que ce terrain a été formé dans une embouchure de rivière et non dans un bassin circonscrit, il faut supposer qu'il existait, durant cette période, des terres d'une étendue considérable à la partie de la surface occupée aujourd'hui par le midi de l'Angleterre et le nord de la France. Nous avons dit que les arbres du *dirt-bed* des environs de *Weymouth* sont implantés encore, ou au moins couchés sur le sol dans lequel ils ont végété ; en conséquence leur immersion dans les eaux sous lesquelles se formaient les couches de *Purbeck* doit s'être opérée d'une manière très-lente et sans aucune agitation des eaux. Si les terres avaient été envahies par une irruption violente des eaux, ou bien si elles avaient été longtemps exposées à l'action destructive des brisants, les arbres et le sol qui les supportait lui-même, auraient été promptement entraînés par les flots. Ainsi, il faut non-seulement que l'immersion ait été très-lente, mais encore que la surface du sol n'ait point été exposée à l'action d'eaux d'une masse un peu considérable qui, douces ou salées, auraient dû former des brisants le long des côtes, à moins que les basses terres ne fussent protégées par des arbres analogues aux mangliers de la zone torride actuelle.

Il y a quelques raisons de supposer que les terres s'abaissaient graduellement sur ce point de la surface de l'Europe, de manière à ce que la dépression qui en résultait fût occupée par des eaux douces, et que, soit par une différence de niveau ou par d'autres causes, la mer n'y pouvait point pénétrer. Il se déposa d'abord une grande quantité de matières calcaires, dans lesquelles furent ensevelies des myriades de coquilles qui paraissent analogues à celles de la *Paludina vivipara*. Vint ensuite une masse de sables auxquels étaient quelquefois subordonnés des lits de vase, et enfin la vase devint dominante. Il paraîtrait que le fond des eaux subissait un abaissement lent et longuement continué, et que la dépression qui en résultait était comblée au fur et à mesure par des matières de transport : à la fin cependant, après un abaissement de quelques centaines de pieds, la mer envahit de nouveau la surface de ces couches, mais sans aucun mouvement violent, car il y a passage entre les couches du terrain de weald et celles de la formation crétacée qui les recouvrent ; et d'une manière si tranquille au contraire, que la vase, contenant des débris d'animaux terrestres et d'eau douce, put être recouverte sans interruption du dépôt, par des sables pétris de fossiles marins. L'abaissement du sol ne s'arrêta pas cependant lors de l'envahissement de la mer, ou plutôt la différence de niveau entre les terres et la mer continua à s'augmenter sur ce point de la surface terrestre, de telle sorte que le fond de

l'embouchure, ou du lac dans lequel s'étaient déposées les couches wealdiennes, se trouva à trois cents brasses au moins au-dessous du niveau de la mer; et cela de la manière la plus lente, car on ne trouve aucune trace de mouvements violents dans les terrains crétacés qui recouvrent les dépôts wealdiens.

Des embouchures de rivières, analogues à celles que nous venons de mentionner, ne peuvent occuper que des surfaces d'une étendue relativement peu considérable, et les phénomènes qui s'y produisent doivent être, jusqu'à un certain point, locaux, quand même on supposerait que les caractères des dépôts d'embouchure se soutiendraient sur des étendues égales à celles des plus grands deltas modernes. On conçoit que les dépôts littoraux qui seraient la continuation des assises de sables et de vases charriés par la rivière, seraient remplis de fossiles marins, précisément comme de nos jours les côtes si étendues de l'Afrique ou de l'Amérique doivent contenir, sur un même fond continu de sondes, des débris marins ou d'embouchure, suivant que de grandes rivières se versent ou non dans la mer qui baigne ces côtes. Il s'ensuit que l'on doit s'attendre à trouver, dans des circonstances favorables, des couches marines qui seront l'équivalent du terrain de *weald*, dont le dépôt doit, suivant toute apparence, avoir exigé un laps de temps considérable. On croit que, d'après leur position géologique, quelques couches d'eau douce du pays de Bray près de Beauvais (où une destruction des couches crétacées met au jour les terrains inférieurs) peuvent être l'équivalent du dépôt wealdien. Cela peut être parfaitement vrai, sans qu'il s'ensuive que les deux dépôts aient jamais été continus, et qu'ils aient fait partie du même delta. Nous ne pourrons peut-être jamais avoir des données suffisantes pour décider s'ils ont ou non été déposés dans une même embouchure; mais s'il était prouvé qu'oui, il faudrait conclure, par analogie avec ce qui se passe aujourd'hui, que l'existence d'un grand continent était nécessaire à la production d'un cours d'eau égal au Niger ou au Gange.

On trouve sur plusieurs points de l'Europe, en France, en Suisse, en Allemagne et en Pologne, certaines couches marines qui occupent une position intermédiaire pour ainsi dire entre les groupes crétacés et oolitiques, et qui seraient par conséquent l'équivalent des couches wealdiennes. Il est évident qu'il a dû se produire des dépôts marins équivalents à ces couches, et d'après toutes les analogies on doit croire que ces dépôts marins devaient être bien plus étendus que ceux d'eau douce, même sur la surface de l'Europe, qui, en elle-même, ne comprend qu'une petite portion de la surface terrestre.

Au-dessus du terrain de weald se trouve la formation crétacée, qui, à en juger par son étendue, doit être le résultat de causes qui agissaient non-seulement en Europe, mais encore sur une portion au moins de l'Asie, puisqu'on retrouve évidemment la craie dans cette partie du monde. Si on considère l'ensemble de cette formation sur une grande étendue, on voit que les couches bien connues sous le nom de craie reposent sur un dépôt arénacé ou argileux, dont on ne peut guère révoquer en doute l'origine mécanique. Comme l'on ne peut point s'attendre à une grande uniformité dans la distribution des matières détritiques, à moins que de supposer un concours de circonstances presque impossible, on devra naturellement trouver les sables prédominants sur un point, la vase sur un autre; ces deux substances pourront alterner entre elles quelquefois, et des dépôts particuliers de sables ou de vase occuperont sur certains points des surfaces relativement fort étendues. Il ne faut pas s'attendre à ce que la division de la partie inférieure de la série crétacée en *grès vert supérieur, gault*, et *grès vert inférieur,* division que l'on trouve si utile dans le midi de l'Angleterre, puisse se poursuivre sur de grandes distances. Cependant, comme ces divers étages se continuent en Angleterre avec une constance remarquable de caractères, et qu'il a fallu que les causes qui les ont produites aient agi d'une manière uniforme sur des étendues considérables, on doit s'attendre à ce que des divisions analogues pourront se retrouver dans quelques parties voisines du continent, en tenant compte toutefois des variations locales; il paraît, en effet, qu'on a reconnu la même division dans les dépôts crétacés d'une partie du nord de la France et dans leur continuation vers Aix-la-Chapelle.

La partie supérieure de la formation crétacée est surtout remarquable par la constance de ses caractères minéralogiques sur une surface qui s'étend depuis le nord de la France par les îles Britanniques, l'Allemagne septentrionale, le Danemarck et la Suède, jusque dans la Russie d'Europe et d'Asie. Il existe sur plusieurs autres points de l'Europe, au sud et à l'est de cette craie blanche, des terrains qui lui sont équivalents; mais ils ont en général des caractères un peu différents; car on trouve des calcaires compactes gris et noirâtres, et des grès compactes qui paraissent être du même âge géologique que la craie blanche. Une telle différence ne peut provenir que d'une modification dans l'origine du dépôt, en sorte qu'il faut admettre qu'il existait sur une grande étendue vers le Nord quelque circonstance qui n'était pas commune à toute la surface de l'Europe et qui contribuait à la production de ces couches d'un calcaire blanc si remarquable.

On ne peut guère supposer que la craie blanche se déposât le long d'une ligne de côtes à laquelle les eaux ne charriaient que ce calcaire mêlé avec de la silice; car l'état de choses qu'il faudrait admettre alors serait si différent de ce qui existe et de ce que l'on peut imaginer avoir jamais existé, qu'il faut absolument chercher une autre explication pour l'origine de la craie blanche. Ce calcaire a l'apparence d'un dépôt chimique, ou plutôt il paraît être le résultat d'une précipitation brusque de carbonate de chaux, due à une action qui aurait chassé l'excès d'acide carbonique à l'aide duquel l'eau pouvait tenir en solution ce carbonate. Si cette eau avait été subitement chauffée, il se serait fait brusquement un grand précipité et il en aurait pu résulter ce carbonate de chaux friable. Ce n'est point là cependant la seule condition nécessaire à la production de la craie blanche telle qu'elle existe aujourd'hui; car elle contient une grande quantité de silice, que l'on juge, d'après le mode suivant lequel elle s'est déposée, avoir été en solution dans l'eau. L'abondance de cette silice, qui s'est séparée de la masse générale de la craie, est fort considérable, en sorte qu'il faut supposer une solution abondante de silice, aussi bien que de carbonate de chaux. Il ne faut point oublier non plus qu'il existait alors un grand nombre d'animaux marins, en sorte que, si la masse de la craie s'était déposée lentement, les circonstances devaient être favorables à l'existence de ces animaux pendant la durée du dépôt. Ici se présente donc la question de savoir si la masse de la craie blanche a été déposée lentement ou d'une manière assez brusque?

Les débris organiques sont en général parfaitement conservés dans la craie : des corps qui à l'état vivant n'avaient pas plus de solidité que des éponges communes y conservent leurs formes; des coquilles très-délicates n'y sont nullement brisées; les poissons, souvent, ne sont même pas aplatis[1], et l'ensemble des apparences autorise à conclure qu'après leur enfouissement ces restes organiques ont été protégés contre les effets de la pression, par la consolidation de la roche qui les entoure; et qu'ils avaient été enveloppés très-tranquillement par une matière excessivement fine, telle qu'elle

[1] M. Mantell a présenté à la Société géologique de Londres des échantillons des poissons de la craie du Sussex qui étaient remarquables par leur état de conservation, les nageoires y étant étendues comme si l'animal nageait encore dans l'eau, tandis que les poissons fossiles que l'on trouve communément dans les autres terrains ont presque toujours leurs nageoires comprimées. Ce fait est surtout frappant en ce qu'il paraît indiquer la légèreté du précipité par lequel ces poissons auraient été saisis avant leur mort. Ces échantillons si instructifs se trouvent probablement encore dans la collection de M. Mantell.

pourrait résulter d'un précipité chimique. Il serait difficile de décider si la craie blanche a résulté d'une seule précipitation ou d'une suite de plusieurs précipitations brusques ; mais il paraît prouvé par l'état des restes organiques que l'on rencontre dans la craie, que le carbonate de chaux tomba doucement au fond de l'eau et qu'il y fut promptement consolidé.

Mais quelle qu'ait été l'origine de la craie blanche, les circonstances qui ont accompagné sa production ne s'étendaient pas, ainsi que nous l'avons remarqué, sur toute la surface occupée aujourd'hui par le groupe crétacé. On ne peut guère supposer qu'une portion considérable de la surface terrestre dût être recouverte à la fois par ce précipité si fin de carbonate de chaux ; il faut s'attendre, au contraire, à ce qu'il existe des terrains de même âge, formés à la manière ordinaire des dépôts détritiques et enveloppant des restes organiques dans les positions favorables. Lorsque l'on ne peut suivre la continuation d'un terrain, il est toujours difficile d'être bien assuré que l'on a, sur des points éloignés, l'équivalent exact d'une partie donnée de la série crétacée. Des causes diverses peuvent évidemment avoir modifié les dépôts de manière à produire des différences difficiles à déterminer d'avance. Suivant M. Dufrénoy, le sel des mines si célèbres de Cardonne[1] se trouve à la partie supérieure de la série crétacée, et c'est le cas aussi pour le sel gemme de Montréal. A Angoulême les couches plus élevées de la formation consistent en un calcaire presque saccharoïde. Dans les Alpes, les Apennins et dans le Levant, depuis la Grèce jusqu'en Asie, les terrains crétacés offrent des caractères tout différents de ceux des couches correspondantes de l'Europe occidentale.

On a découvert dans les terrains crétacés une grande abondance de débris organiques ; on y connaît aujourd'hui environ 160 genres et 768 espèces ; et celles-ci diffèrent, à quelques exceptions douteuses près, de celles des groupes inférieurs, ou du moins de ce que l'on connaît de ces groupes. Dans les sables et les argiles de la partie inférieure de la formation, on trouve dans l'Europe occi-

[1] « La mine de sel de Cardonne nous paraît une dépendance certaine du « système des ophites ; elle se trouve, il est vrai, au milieu du terrain de craie, « mais elle y est étrangère, et occasionne dans les couches un bouleversement « analogue à celui que nous avons indiqué pour le gypse des environs de Biaritz....... Le sel gemme de Cardonne est donc plus moderne que le terrain « dans lequel il est enclavé ; il est très-probable qu'il est en connexion intime « avec les ophites et les gypses de la Catalogne. » Dufrénoy, *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, tom. 2, p. 153. (*Note du traducteur.*)

dentaire quelques débris de végétaux terrestres qui sont cependant assez rares; plusieurs des fragments de bois paraissent, d'après leur état de conservation et la manière dont ils ont été percés par des tarets ou des animaux analogues, avoir été longtemps flottés par l'océan. Mais dans la craie blanche on trouve des plantes marines, et les végétaux terrestres doivent y être fort rares, puisque l'on a longtemps révoqué en doute qu'il y en existât réellement; on ne voit pas bien pourtant pourquoi il ne pourrait point s'y en trouver. Cependant le manque général de plantes terrestres sur une grande partie de la surface occupée par la craie blanche paraît indiquer qu'il n'y avait, à portée des lieux où cette craie se déposait, que fort peu de terres qui eussent pu fournir de ces plantes. On peut en conclure que la configuration générale du sol de l'Europe, lors du dépôt des terrains crétacés, était fort différente de celle qué présentait le même sol à l'époque qui avait immédiatement précédé ce dépôt. Sur quelques points cependant il s'est produit, tout près des masses de craie dans lesquelles les plantes sont rares, des accumulations de matière végétale suffisantes à produire des combustibles fossiles; ainsi on trouve à Pereilles près de Bellesta, à Ernani près d'Irun, et à Saint-Lon dans les Landes, des combustibles qui, suivant M. Dufrénoy, appartiennent à la série crétacée. On a cité aussi des combustibles dans un grès de la série crétacée près de Quedlimbourg.

On n'a point trouvé jusqu'ici des restes de mammifères dans le groupe crétacé; les reptiles n'y sont nullement communs; il y aurait donc, sous ce rapport, une différence marquée entre les caractères zoologiques de ce groupe et ceux du groupe oolitique qui l'avait immédiatement précédé. C'est encore une circonstance de laquelle on peut conclure qu'il existait moins de terres émergées en Europe pendant la période crétacée qu'il n'en avait existé pendant l'oolitique. On a trouvé les restes d'un crocodile dans la craie de Meudon, et ceux d'un grand reptile, le *Mosasaurus*, à Maestricht et dans le *Sussex*. Les restes de poissons ne sont point aussi rares, et on peut même dire que les dents de poissons, de requins probablement, y sont assez communes. Les mollusques fossiles de cette époque sont très-nombreux. Les Ammonites, quoique assez fréquentes encore, ne paraissent pas avoir été aussi communes que lors de la période oolitique, car elles devaient alors pulluler dans les mers qui ont été remplacées aujourd'hui par les terres de l'Europe; mais d'autres coquilles cloisonnées, telles que les Scaphites, les Hamites, les Turrilites et les Baculites, étaient comparativement abondantes pendant la période crétacée. On a même cru pendant un certain temps que

ces genres étaient exclusivement propres à cette période; mais depuis qu'on a trouvé, quoique fort rarement, des Hamites et des Scaphites dans le groupe oolitique, nous pouvons prévoir qu'on trouvera plus tard peut-être, aussi dans ce même groupe, les deux autres genres, surtout lorsqu'on l'aura examiné sur des points du globe fort éloignés. En jugeant par analogie, on peut croire que les divers genres de mollusques qui se trouvent à l'état fossile dans les couches crétacées, ne vivaient pas dans des eaux d'une profondeur considérable. Les Échinides paraissent avoir été très-répandus à cette époque, surtout pendant la production de la craie blanche. Il ne semble pas en général que les coraux fussent aussi nombreux qu'aux époques précédentes, tandis que les zoophytes spongiformes auraient été plus abondants. Il faut cependant se garder de trop généraliser ces conclusions; car la conservation de fossiles aussi délicats doit tenir à des circonstances particulières très-favorables, qui paraissent avoir existé surtout pendant le dépôt de la craie blanche.

Il est naturel qu'on découvre sur différents points du globe des terrains équivalents aux crétacés, comme il en est de tous les dépôts dont la formation exige des périodes de temps considérables, pourvu toutefois que des circonstances postérieures aient porté ces terrains au-dessus de la surface des eaux dans lesquelles ils ont été déposés. Le docteur Morton a décrit une suite de couches de l'Amérique septentrionale, qu'il juge, d'après les fossiles qu'elles contiennent, avoir été produites en même temps que les terrains crétacés de l'Europe. Cette conclusion est certainement exacte, si l'on s'en rapporte aux caractères zoologiques, et l'on peut en conséquence regarder la formation du *sable ferrugineux* d'Amérique, comme l'équivalent de la série crétacée de l'Europe, jusqu'à ce qu'on ait des preuves du contraire; on peut même s'attendre à ce que de nouvelles observations confirmeront cette opinion, car les relations du *sable ferrugineux* avec les terrains qui lui sont supérieurs, indiquent une analogie générale entre les dépôts européens et américains de la période crétacée. En admettant comme exacte la détermination des fossiles qui ont été découverts en Amérique, on trouve que le *Mosasaurus* existait, au moins comme genre, sur cette partie de la surface terrestre, en même temps qu'il vivait dans la partie occupée aujourd'hui par l'Europe; et qu'en Amérique aussi il était accompagné de crocodiles, dont on cite des débris en grande abondance. Il est à remarquer que les *Plesiosaurus* et les *Geosaurus* (sauriens dont les restes ne se trouvent pas occuper dans le terrain crétacé d'Europe une position aussi élevée) sont

associés au *Mosasaurus* en Amérique ; un autre animal, le *Saurodon*, qui se trouve dans le sable ferrugineux d'Amérique, n'a été découvert jusqu'ici dans aucun terrain en Europe.

Une partie considérable des terres de l'Europe actuelle était submergée probablement lors du dépôt des couches crétacées qui paraissent s'être débordées en allant de bas en haut, de manière à recouvrir en stratification transgressive une étendue de plus en plus considérable, des terrains préexistants de toute époque, depuis le gneiss et le micaschiste de l'Europe septentrionale, jusques et inclusivement aux dépôts oolitiques et wealdiens de contrées plus méridionales. La surface de l'Europe ne devait point continuer longtemps dans cet état ; la craie se trouva exposée à l'action destructive des eaux ; sa surface fut ravinée sur une grande partie de l'Europe occidentale, et les silex, qui en étaient la partie la plus résistante, restèrent pour la plupart sur cette surface démantelée, montrant souvent par leurs formes anguleuses qu'ils n'avaient point eu à subir de longs transports et qu'ils n'avaient pas été fortement roulés sur place. Il a dû y avoir un soulèvement considérable de la masse de la craie, et probablement d'une grande partie au moins de la surface de l'Europe, relativement au niveau de la mer ; en sorte qu'il existât des terres sur des points qui étaient auparavant occupés par la mer ; et ces terres, couvertes de végétaux, étaient peuplées sur quelques points d'un grand nombre d'animaux terrestres.

CHAPITRE XVII.

On donne communément le nom de *tertiaires* aux divers terrains du groupe supracrétacé. Il y a pourtant de graves objections à faire contre cette dénomination, en ce qu'elle impliquerait qu'il y a eu trois grandes classes de terrains, dont chacune se distingue des autres par des caractères prononcés; et que la troisième de ces classes se compose des dépôts surpracrétacés. Avant que MM. Cuvier et Brongniart eussent fait part au monde savant de leurs précieux travaux sur les terrains supérieurs à la craie, dans le bassin de Paris, on regardait la craie elle-même comme le plus élevé des terrains de la série géologique, et les dépôts supracrétacés n'étaient considérés que comme de simples amas superficiels de sables, de graviers ou d'argiles. On divisait alors les terrains qui composent l'écorce du globe, en deux grandes classes, les *primitifs* et les *secondaires,* en admettant pourtant entre ces deux classes une sorte de terrains équivoques, qu'on appelait de *transition*. On trouva donc tout naturel de donner le nom de *tertiaires* aux dépôts supracrétacés des environs de Paris, lorsqu'on eut reconnu qu'il n'y a point de passage de la craie à ces terrains; que la surface de la première a été ravinée avant le dépôt de ceux-ci; et que les fossiles des couches supracrétacées sont totalement différents de ceux de la craie. Il ne faut point supposer pourtant qu'il y ait eu alors un grand hiatus dans la sédimentation générale de la surface entière de la planète terrestre; il ne faut même pas s'attendre à ce que la solution de continuité entre la craie et les terrains supérieurs, existe partout en Europe. Il faut se rappeler, au contraire, que l'on trouve aussi des interruptions géologiques sur quelques points de la surface supérieure des autres groupes, tandis qu'il y a ailleurs passage de cette surface aux terrains immédiatement superposés, et l'on trouvera naturel que la même chose ait lieu entre les terrains crétacés et les supracrétacés. Dans le nord de l'Angleterre la grauwacke est séparée du groupe carbonifère d'une manière qui indique des actions bien plus violentes que celle que l'on pourrait supposer, d'après les faits connus aujourd'hui, s'être manifestée entre la formation de la craie et celle des terrains supracrétacés; et cependant dans le midi de l'Angleterre la partie supérieure de la grauwacke passe peu à peu aux couches du groupe carbonifère. On pourrait donc prévoir, *à priori,* que l'on devra trouver en Europe même des passages

entre la craie et les couches supérieures. Maintenant, MM. Sedgwick et Murchison croient avoir reconnu effectivement de tels passages dans quelques terrains des Alpes, à Gosau et ailleurs; les observations de M. Dufrénoy conduisent au même résultat. A Maestricht on trouve bien évidemment, au-dessus de la craie, des couches qui ne se trouvent point en général ailleurs à la partie supérieure de ce terrain; on trouve en Normandie des dépôts ayant quelque analogie avec ceux de Maestricht. Mais à Maestricht la surface supérieure de la craie avait été corrodée avant le dépôt des couches qui la recouvrent, en sorte qu'il n'y a point de passage entre les deux terrains. Comme nous ne pouvons apprécier la quantité de matière qui a été enlevée par les dénudations antérieures au dépôt des couches supracrétacées, on n'est nullement certain qu'il n'y ait pas eu une série nombreuse de couches ainsi enlevées. Il arrive souvent que nous ne reconnaissons l'existence probable de plusieurs couches sur des surfaces où on ne les voit plus aujourd'hui, que par des lambeaux restés épars çà et là, et ayant résisté aux agents de dénudation qui ont enlevé dans quelques localités des milles cubes de matières solides. Sans doute qu'un changement considérable a eu lieu, après la période crétacée, sur une grande partie de la surface occupée aujourd'hui par l'Europe; mais si l'on cherche quelle est l'étendue de cette surface, sur un globe terrestre, on voit bientôt combien sont insuffisantes les données sur lesquelles on a voulu fonder une catégorie particulière de terrains, applicable à la surface terrestre tout entière.

Les terrains supracrétacés constituent une grande partie du sol de l'Europe; on a écrit de nombreux mémoires sur l'étendue probable des divers lacs ou mers dans lesquelles ont été enfouis tant de débris d'êtres organisés terrestres, fluviatiles, lacustres et marins. Il serait tout à fait incompatible avec les limites de cet ouvrage, que d'examiner les probabilités sur lesquelles est fondée l'existence de ces divers bassins, et celle des terres qui sont supposées les avoir entourés. Nous dirons seulement qu'on a la preuve que de nombreux changements ont eu lieu à la surface terrestre entre le dépôt des terrains crétacés et l'ordre de choses actuel; que ces changements supposent un laps de temps très-considérable; et qu'à mesure qu'on approchait de la période actuelle, il y avait à la surface de l'Europe une augmentation générale des terres.

Dans la complication occasionnée par les différents changements qui ont eu lieu pendant la période supracrétacée, on a cru que le meilleur plan pour arriver à une classification des terrains de cette période, était de les distinguer d'après les restes organiques qu'ils renferment, en considérant comme les plus récents les dépôts dont

les restes organiques se rapprochent le plus des êtres organisés qui vivent aujourd'hui dans la contrée où ces dépôts sont situés. Les géologues admettaient, depuis longtemps, que plus un dépôt était récent, plus on avait de probabilité d'y découvrir des restes d'animaux et de végétaux analogues aux vivants; mais il n'y a que quelques années qu'on a essayé de faire une classification générale des terrains supracrétacés de l'Europe fondée sur ce principe; jusque-là on avait supposé que tous les terrains supracrétacés devaient se rapporter à l'une ou à l'autre des assises des environs de Paris. Le premier pas vers la nouvelle classification paraît avoir été fait par M. Desnoyers[1], qui fit voir que les dépôts de Paris, de Londres et de l'île de Wight appartenaient à la période la plus ancienne du groupe supracrétacé; que l'on pouvait établir dans les couches supracrétacées plusieurs divisions, correspondant à diverses oscillations du sol, qui auraient produit autant de changements dans la sédimentation marine ou fluviatile; et que ces divisions présentaient des passages insensibles de l'une à l'autre sous le double rapport minéralogique et paléontologique, tandis que l'ensemble du groupe lui-même formait un passage analogue de l'état ancien de la nature au présent, depuis les bassins supracrétacés les plus anciens jusqu'aux bassins de nos mers actuelles. M. Deshayes, après avoir examiné une multitude de coquilles de cette période, recueillies dans diverses localités, a partagé, d'après les restes organiques, toute la série des dépôts supracrétacés en trois sous-groupes. M. Lyell a publié les Tables de M. Deshayes, en observant qu'avant d'avoir connaissance des travaux de M. Deshayes, il avait lui-même partagé en quatre classes les dépôts du groupe supracrétacé[2]. Cependant, pour faciliter l'usage des tables de M. Deshayes, M. Lyell n'a adopté que trois noms distincts pour ses sous-groupes; et il a sous-divisé le sous-groupe supérieur en *Pliocène récent* et *ancien;* le sous-groupe moyen a reçu le nom de *Miocène;* l'inférieur celui d'*Éocène*. Cette dénomination est fondée sur la distribution des fossiles dans les divers sous-groupes, distribution telle que l'analogie entre les espèces fossiles et celles actuellement vivantes est d'autant plus grande que l'on s'élève davantage dans la série; les fossiles du sous-groupe inférieur (*Éocène*) ayant à peine quelque analogue vivant, tandis que ces analogues sont le plus nombreux dans le sous-groupe supérieur (*Pliocène*). Ces distinctions sont donc essentiellement fondées sur des changements, et elles ne viennent nullement à l'appui de l'opinion qui admettrait que depuis la première existence

[1] *Annales des sciences naturelles*, 1829.

[2] *Principles of Geology*, vol. 3; *Préface*, 1833.

à la surface de notre planète de l'organisation animale et végétale, il n'y aurait eu jamais qu'une succession non interrompue de phénomènes semblables entre eux; car ces distinctions impliquent une disparition graduelle et une destruction presque absolue d'animaux mollusques donnés, sur une surface qui a été habitée plus tard par d'autres espèces qui n'ont jamais été rencontrées dans aucun des dépôts antérieurs, et qui, par conséquent, auraient dû être créées pour remplacer celles qui avaient cessé d'exister à l'état vivant à la surface de la terre.

Ainsi que nous avons eu occasion de le faire remarquer, toute classification fondée exclusivement sur les restes organiques est sujette à erreur, si l'on en veut conclure que l'identité des fossiles indique nécessairement une contemporanéité de formation; on aura donc une double source d'erreur, lorsque l'on conclura la contemporanéité de formation des divers dépôts tertiaires d'après un certain rapport numérique entre les espèces fossiles et celles qui vivent actuellement. Des classifications faites sur cette base impliquent une série de changements identiques dans les conditions de la vie, qui se seraient faits en même temps sur un grand nombre de points séparés et souvent fort éloignés les uns des autres. Lors donc que l'on donne à des terrains des noms tirés d'un seul des caractères de ces terrains, et que ce caractère est tout autre que constant, surtout dans les dépôts auxquels on veut appliquer cette dénomination, on préjuge théoriquement de la place que ces terrains devraient occuper dans la série géologique, qui doit être fondée sur l'ancienneté relative du dépôt lui-même, et non sur le nombre proportionnel particulier de fossiles donnés qu'on peut y rencontrer, nombre qui ne doit jamais donner lieu qu'à des considérations de second ordre. Si cette méthode était adoptée pour toute l'échelle géologique, on aurait dans d'autres terrains, à la surface même si peu étendue de l'Angleterre, des dépôts contemporains qu'il faudrait séparer, parce qu'ils ne présenteraient pas sur tous leurs points une même proportion de certains fossiles donnés. Il serait évidemment impossible de rechercher les diverses conditions sous lesquelles les êtres organiques ont été ensevelis dans les sédiments d'une époque géologique donnée, si l'on se bornait à recueillir un nombre de coquilles fossiles et à les soumettre à un conchyliologue, pour classer ensuite théoriquement les différents dépôts, suivant les nombres proportionnels de coquilles existantes ou non existantes qu'ils contiennent.

Il y a probablement peu de géologues qui soient disposés à soutenir que, si l'on trouvait aux Indes, en Amérique et en Europe des terrains supracrétacés contenant chacun environ 50 pour cent

a la preuve que les genres perdus des *Anoplotherium* et des *Palæotherium* s'étendaient jusqu'à cette partie de la surface de l'Europe, et qu'un ruminant voisin du genre *Moschus* habitait les mêmes régions. Il serait difficile de dire jusqu'à quel point ces dépôts de la France, de l'Angleterre et quelques autres de la Belgique, qu'on rapporte aussi à la partie inférieure des terrains supracrétacés de l'Europe, peuvent avoir jadis formé un seul dépôt continu; il est probable que la chose a été ainsi, surtout pour les dépôts de Londres et de la Belgique, qui paraissent n'être séparés aujourd'hui que par le canal de la Manche, ou par les terrains plus récents qui les recouvrent. Il est parfaitement prouvé que plusieurs causes de dislocation et d'érosion ont modifié la surface du sol de cette partie de l'Europe depuis le dépôt de ces terrains, et il est probable que nous ne trouvons plus aujourd'hui qu'une portion de ceux qui existaient jadis.

Il est bien évident qu'il ne faut point croire qu'il ne se formât alors de dépôts de sédiments que dans cette partie de l'Europe; mais il ne s'ensuit point cependant que les dépôts qui se formaient sur d'autres points de la surface terrestre, dussent être caractérisés par des fossiles semblables, ou par un nombre proportionnel déterminé de certains mollusques particuliers; on doit même penser que le contraire avait lieu, à moins qu'on ne veuille supposer que les mêmes conditions existaient dans les diverses localités où il se formait des dépôts, sur quelque point que ce fût de la surface terrestre. Les recherches de M. Lea dans les États-Unis de l'Amérique septentrionale, ont fait connaître un ensemble de fossiles, de coquilles surtout, provenant d'un dépôt de l'État d'Alabama, que l'auteur croit l'équivalent de la partie inférieure des terrains supracrétacés, quoiqu'on n'y ait rencontré jusqu'ici aucune coquille analogue à des espèces vivantes. Cet auteur annonce[1] que sur environ deux cent cinquante coquilles, provenant de ce dépôt, qu'il a examinées, il n'en regarde pas une seule comme parfaitement analogue à celles des terrains supracrétacés inférieurs de l'Europe. Il est à remarquer pourtant, que cet ensemble de coquilles ne ressemble aux fossiles d'aucun terrain européen, et par suite la conclusion de M. Lea n'est appuyée que sur l'abondance de certains genres qu'on suppose avoir paru alors pour la première fois à la surface de la terre. On a donc là un terrain qui peut être l'équivalent de quelqu'un des groupes fossilifères de l'Europe, compris entre certaines limites; ce terrain est rempli de coquilles fossiles, et cependant ces fossiles ne nous servent à indiquer l'âge du dépôt qu'autant qu'on admet que des genres donnés peuvent caractériser une portion déterminée

[1] *Contributions to Geology. Philadelphia*, 1833.

de la série des terrains fossilifères. Les recherches de M. Lea n'en sont pas moins importantes, et en les ajoutant aux travaux des autres géologues américains, elles pourront conduire, comparées aux documents fournis par les géologues européens, à des connaissances exactes sur la valeur des restes organiques dans la détermination de l'ancienneté relative des terrains; ce que l'on ne peut attendre des travaux des personnes les plus distinguées et instruites, qui ont limité leurs études à la partie de la surface terrestre occupée aujourd'hui par l'Europe.

L'espace nous manque pour donner une description détaillée des divers terrains supracrétacés; nous observerons seulement que, si l'on classe ces terrains d'après le nombre proportionnel d'espèces fossiles analogues aux vivantes qu'ils peuvent contenir, l'étage moyen se trouverait représenté, suivant M. Lyell, par les dépôts supracrétacés de Bordeaux, de Dax, de la Touraine, de Turin, Baden, Vienne, de la Moravie, la Hongrie, Cracovie, la Volhynie, la Podolie, la Transylvanie, d'Angers et de Ronca; tandis que l'étage supérieur existerait en Italie, en Sicile, en Morée: cet étage comprend en outre le crag, dépôt remarquable situé à la côte orientale d'Angleterre. Tout tend à prouver que pendant le dépôt de ces diverses accumulations de matières détritiques, les terres de l'Europe prenaient une extension de plus en plus considérable; un grand nombre de bras de mer, de lacs, d'embouchures de rivières, se changeaient en régions habitables par des animaux terrestres, soit que ces bassins divers fussent comblés par des dépôts successifs de matières solides, soit qu'il y eût un soulèvement général du sol au-dessus du niveau de l'océan. On a aussi des preuves évidentes que pendant que ce changement s'opérait dans la position relative des terres et des eaux, il se faisait une modification générale graduelle dans l'organisation animale et végétale, de manière à approcher de plus en plus de celle qui existe aujourd'hui dans cette partie du monde. En considérant les choses d'une manière générale, le groupe supracrétacé passe d'une façon si insensible à l'ordre de choses actuel, qu'on ne pourra probablement jamais établir une ligne de démarcation entre les deux, surtout si l'on prend l'ensemble de la surface terrestre et non une petite partie de cette surface. Cependant des changements considérables doivent avoir eu lieu dans l'organisation animale sur une grande partie de la terre, même pendant le dépôt seulement de la partie supérieure du groupe supracrétacé.

Les terrains supracrétacés de l'Europe contiennent les restes d'un grand nombre de mammifères; mais ce n'est que pour ceux des plus récents de ces terrains qu'on peut discuter s'ils sont ou non ana-

logues à des espèces vivantes; et même dans ces assises supérieures il y a bien peu de fossiles qui puissent conduire à révoquer en doute que tous les mammifères fossiles sans exception ne soient spécifiquement différents de ceux qui vivent aujourd'hui. Ce ne sont pas seulement des espèces qui ont disparu depuis l'époque supracrétacée, mais des genres entiers de cette époque ont été rayés du nombre des animaux vivant aujourd'hui à la surface de notre planète. Les *Palæotherium* devaient évidemment être assez communs, lors du dépôt des terrains supracrétacés inférieurs, puisque M. Cuvier en compte sept espèces comme se trouvant dans les couches gypseuses des environs de Paris. Ce genre n'était nullement confiné à cette localité, car on en a trouvé des individus dans l'île de *Wight* et sur différents points de la France, de l'Allemagne et de la Suisse. En admettant que la place réelle des faluns de Touraine soit à l'étage moyen du groupe supracrétacé, les *Palæotherium* vivaient alors dans les mêmes localités que des mastodontes, des rhinocéros, des hippopotames, des chevaux et des cerfs, genres qu'on n'a pas rencontrés jusqu'ici dans l'étage inférieur, on peut en conclure que le genre *Palæotherium* a été créé avant ces derniers animaux et qu'il a continué d'exister contemporainement à ces genres plus récents. Le même mélange de restes organiques a été indiqué par M. Murchison et le comte Munster à *Georges-Gemünd* (où l'on a découvert aussi des restes de bœuf et de l'ours des cavernes), et par M. Meyer à *Friedrichs-Gemünd* et à *Eppelsheim*. Il serait difficile de décider si ces dépôts sont ou non contemporains des faluns de Touraine; mais ces faits sont fort intéressants, en ce qu'ils prouvent que le *Palæotherium* vivait aussi, en même temps que les animaux cités plus haut, ailleurs qu'en Touraine, et que par conséquent le mélange d'ossements de ce dernier pays n'est point un fait accidentel. On n'a jamais trouvé de débris de *Palæotherium* dans les divers amas d'ossements de la partie supérieure du groupe, amas qui paraissent former un passage aux dépôts d'ossements qui se forment de nos jours; on peut donc conclure que le genre *Palæotherium* avait cessé de vivre à la surface de la terre avant l'apparition de l'homme.

L'histoire des *Anoplotherium* paraît avoir beaucoup de rapports avec celle des *Palæotherium*; comme ceux-ci, ils ont disparu avant la fin de la période supracrétacée, et comme eux ils avaient vécu avec des mastodontes, rhinocéros, etc. D'autres genres qui se trouvent fossiles à l'étage inférieur, tels que les *Anthracotherium*, paraissent avoir subi le même sort. Mais tous les genres dont des restes avaient été ensevelis dans les assises supracrétacées inférieures, n'ont point été rayés du nombre des vivants; car M. Cuvier cite des espèces des genres

Canis, *Sciurus*, *Didelphis*, comme se trouvant avec les *Palæotherium* et les *Anoplotherium* dans les couches gypseuses des environs de Paris.

Le mastodonte, cet animal monstrueux, dont on trouve des restes épars dans diverses parties du monde, paraît avoir été créé, comme genre, vers le temps où se déposait la partie moyenne du groupe supracrétacé. Ce genre remarquable a cessé aussi d'exister, quoiqu'il ait probablement continué à vivre jusqu'à une époque relativement récente; car on ne peut admettre comme exactement déterminé, l'âge relatif des couches dans lesquelles on trouve dans l'Amérique septentrionale les restes du *Mastodon maximus*. En effet, s'il est prouvé que l'on ait trouvé à *Withe* dans l'État de Virginie, dans une espèce de sac (qu'on suppose être l'estomac d'un de ces animaux), au milieu des ossements d'un mastodonte, une espèce de roseau qui croît actuellement dans le pays, il serait possible que le genre mastodonte ait continué à vivre, même après l'apparition de l'homme à la surface de notre planète. Puisque les éléphants et les mastodontes ont évidemment vécu contemporainement sur différents points du globe, on ne voit pas bien *à priori* pourquoi le premier de ces genres existerait encore, tandis que l'autre aurait entièrement disparu. D'après toute analogie, nous devrions croire qu'un simple changement de climat aurait été aussi fatal aux éléphants qu'aux mastodontes, surtout lorsqu'il s'agit d'espèces des pays chauds dans lesquels il n'y a pas de raison de croire que la température ait été alors beaucoup plus élevée qu'aujourd'hui. Cependant on trouve des mastodontes fossiles dans les Indes et l'Amérique équinoxiale, aussi bien que dans les régions plus froides de l'Europe et de l'Amérique septentrionale.

D'autres animaux monstrueux, qui paraissent avoir été créés après les *Palæotherium*, ont cessé aussi d'exister comme genre parmi les animaux vivants; jusqu'à présent, cependant, nous ne savons point qu'ils aient été distribués sur des espaces aussi étendus que les mastodontes; car le *Megatherium* n'a été trouvé que dans l'Amérique méridionale, et le *Dinotherium* sur les bords du Rhin seulement.

Tandis que plusieurs genres ont été ainsi successivement créés et détruits, d'autres, créés successivement aussi en apparence, ont continué à exister de nos jours. Les éléphants, les rhinocéros, les hippopotames et d'autres animaux, fossiles dans différents dépôts supracrétacés, existent encore comme genres parmi les animaux vivants. Les espèces vivantes sont à la vérité différentes des fossiles, et elles n'existent que dans un petit nombre de localités, tandis qu'à en juger par l'abondance des ossements fossiles, des troupes nombreuses de ces animaux devaient errer jadis dans les localités

qui leur étaient le mieux appropriées. Il y a eu des changements dans la distribution de ces animaux à la surface de la terre, mais leur forme générique s'y est conservée. A l'égard de plusieurs, la surface qu'ils habitent est plus limitée, et le vide qu'ils ont laissé a été rempli par la création d'animaux plus adaptés aux conditions actuelles de la surface du globe.

Nous ne pouvons terminer cette esquisse des dépôts fossilifères sans parler de ces grandes surfaces planes, légèrement inclinées, terminées par le rivage de la mer, qui sont si communes sur différents points du globe et qui présentent, partout où on les a étudiées avec attention, un grand nombre de mollusques analogues à ceux qui vivent dans la mer voisine. La proportion de ces analogues peut varier d'un point à l'autre, mais il n'y a pas moins quelque chose de fort remarquable dans ces grandes plaines si fréquentes dans les diverses parties du monde, à peine inclinées vers la mer et s'enfonçant petit à petit sous les eaux, où leur surface paraît se continuer dans les bas-fonds qui bordent la côte, au point que l'on dirait que les plaines émergées ne doivent leur position actuelle au-dessus des eaux, qu'à des événements géologiques d'une date comparativement récente. Si le niveau relatif de la mer et des terres venait à changer de 600 ou 800 pieds, une grande partie des continents formée par ces plaines serait submergée. Ce fait nous conduit à rechercher si la généralité de cette disposition est due à un phénomène commun à toute la surface ou écorce du globe, et qui aurait agi sur tous les points à une même époque particulière; ou bien si elle résulte d'une série d'effets qui se seraient produits à plusieurs reprises, de manière à ce que leur ensemble donnât lieu à la fin à l'état de choses actuel. Il paraît bien prouvé, tout en tenant compte de l'action destructive exercée probablement par la mer sur les côtes, qu'il y a eu pendant la période supracrétacée une augmentation graduelle générale des terres en Europe, soit que cette augmentation provînt de changements du niveau relatif, ou du comblement des différents lacs ou mers par des dépôts de matières solides. Les mêmes effets s'observent dans les autres continents, autant que nous pouvons en juger dans l'état actuel de nos connaissances. Si la généralité de ce phénomène était prouvée, il y aurait eu pendant une même période une augmentation graduelle des terres sur toute la surface du globe; et comme l'on peut conclure qu'il y a eu en même temps une augmentation générale dans la quantité relative des animaux terrestres, ces deux faits concorderaient l'un avec l'autre, et l'on aurait une extension dans la vie terrestre proportionnée à l'agrandissement des terres adaptées à son existence.

CHAPITRE XVIII.

Pendant les millions d'années qu'a duré nécessairement la formation des différents dépôts dont nous avons tracé une courte esquisse dans les trois chapitres précédents, d'autres roches se sont épanchées de l'intérieur, redressant, recouvrant ou pénétrant les couches que nous jugeons, par analogie, avoir été produites sous les eaux. On a supposé pendant longtemps que cette association particulière d'espèces minérales qui a reçu le nom de granite, appartenait exclusivement à la partie la plus inférieure des terrains qui composent l'écorce du globe; que cette association constituait le terrain fondamental sur lequel tous les autres s'étaient formés, et qu'on ne retrouvait point de granite plus élevé dans la série géologique. Cette opinion, ainsi que plusieurs autres de même ordre, a dû tomber devant l'évidence des faits, puisque l'on trouve des roches granitiques dans des positions qui prouvent qu'elles doivent s'être épanchées après le dépôt des terrains crétacés; sur d'autres points les granites doivent avoir été épanchés à des époques intermédiaires entre la formation crétacée et les terrains les plus anciens que l'on connaisse. Cependant, de ce que l'on trouve des granites à des points fort élevés de l'échelle géologique, on ne peut conclure que les circonstances aient été également favorables à la production de cette roche à toutes les périodes jusques et y compris celle du groupe crétacé. Il faut observer l'abondance ou la rareté des granites aux diverses époques géologiques, et, d'après l'ensemble général des faits ainsi recueillis, conclure si les circonstances étaient plus ou moins favorables pour la production de ces roches aux époques correspondant à ces faits. En procédant ainsi, on arrive bientôt à conclure que le granite doit s'être produit le plus abondamment pendant la formation des terrains stratifiés inférieurs, ou *non fossilifères;* et lorsqu'on en vient à chercher les différences qui existent entre ces terrains et les différents granites qui leur sont associés, on trouve que le plus souvent il n'y a aucune différence chimique entre ces roches, et que dans les autres cas cette différence est extrêmement faible. Pris en masse, les granites et les terrains stratifiés inférieurs ont entre eux une grande analogie chimique; les uns et les autres sont des associations de silicates faites suivant

des lois qui portent à supposer qu'à l'époque géologique de la formation de cet ensemble de roches, les circonstances de la surface de notre planète étaient extrêmement favorables à la production d'un petit nombre de substances minérales remarquables.

De quelque manière que l'on suppose qu'ont été produits les terrains stratifiés inférieurs, le temps a dû être un élément essentiel à leur formation; et comme on a plusieurs raisons pour conclure que ce temps a dû être très-considérable, on est autorisé à penser que de nombreuses masses de granite se sont intercalées dans ces terrains à des époques diverses. Il s'ensuit qu'on ne doit point s'attendre à trouver des traces constantes de dislocation à chaque intercalation de granite dans les terrains stratifiés inférieurs. Il est évident que, même en supposant que tous les granites ainsi associés à ces terrains aient été jadis à un état de fusion, ils peuvent avoir formé des assises épaisses en se répandant sur les terrains plus anciens, assises qui auraient été recouvertes plus tard par des micaschistes ou autres terrains analogues; ou bien ils peuvent s'être épanchés dans les joints de stratification qui étaient le point de moindre résistance. Dans les deux cas il a pu en résulter des masses tabulaires de granite associées régulièrement avec les terrains stratifiés inférieurs, sans aucune trace d'action violente. Il n'en est pas moins certain qu'il y a eu aussi des intercalations violentes de masses granitiques parmi les assises de ces terrains, puisque des filons de granite coupent souvent ces assises dans toute sorte de directions, et qu'il existe quelquefois à la jonction des deux terrains des preuves de dislocations dues à des actions violentes.

Nous avons vu que la figure de la terre exige que cette planète ait été jadis à l'état fluide, et nous avons conclu que cette fluidité devait être ignée; il résulterait de là que pendant la période de la première consolidation de la croûte du globe, non-seulement il a dû se produire en grande quantité des roches cristallines, mais encore que, dès que l'eau a pu exister à l'état liquide et contribuer à la production des roches, il a dû y avoir un grand nombre d'intercalations de roches ignées avec celles d'origine aqueuse. Il y a encore une autre circonstance qu'il importe d'observer, et c'est que, tandis qu'on voit souvent dans les terrains stratifiés inférieurs des passages du gneiss au granite, ce n'est que très-rarement qu'on a cru remarquer des passages semblables entre le granite et les terrains plus récents à travers lesquels il aurait pénétré; encore ces prétendus passages sont-ils fort douteux. Que si l'on suppose que le gneiss ait été produit jusqu'à un certain point par la voie aqueuse (supposition qui n'est nullement une conséquence de l'ar-

rangement des substances minérales qui entrent dans sa composition), on concevra facilement que pendant que la surface entière du globe était à des températures si élevées, les produits ignés et aqueux devaient avoir une plus grande tendance à se confondre, que lorsque des roches à l'état de fusion venaient à être injectées entre des couches, ou dans un océan à la température ordinaire.

On trouve à la partie inférieure des terrains qui composent l'écorce visible du globe, une telle quantité de roches d'une nature analogue aux granites et aux gneiss, quel que soit d'ailleurs le nom qu'on veuille donner à ces roches; et il existe en outre un si grand nombre de dépôts dont les matériaux résultent de la destruction de ces mêmes roches, que l'on est porté à conclure que la forme granitoïde est celle que prenait la matière lors de sa première consolidation à la surface de la terre. Il ne s'ensuit nullement que le granite doive nécessairement s'étendre jusqu'à de grandes profondeurs au-dessous de cette surface; au contraire, en admettant la fluidité ignée du globe, les substances qui surnageaient le plus facilement devaient cristalliser les premières, et fournir par suite des matériaux que les eaux, dès qu'elles étaient capables de jouer un rôle dans la formation des roches, pouvaient dissoudre ou corroder pour en former des dépôts sédimentaires. Il résulterait de là que lorsque, par le rayonnement de la chaleur interne, l'écorce solide de la terre aurait pris une épaisseur considérable, la matière liquide injectée dans les fissures de cette écorce pourrait différer du granite et avoir, dans des circonstances égales, une densité plus grande que celle de cette roche.

Si c'était là réellement le cas, on devrait avoir eu des éruptions granitiques à des époques différentes; mais la matière granitique aurait dû se mêler peu à peu avec des substances situées originairement au-dessous d'elle; et à la fin la production de nouveaux granites serait une chose extrêmement rare, excepté dans le cas où il y aurait une fusion préalable des granites, gneiss ou roches analogues antérieurement consolidées. Une telle fusion pourrait avoir lieu par suite de variations dans la profondeur à laquelle devrait se trouver la température capable de fondre les granites; variations qui, d'après M. Babbage, pourraient résulter de changements à la surface terrestre qui modifieraient la capacité de rayonnement de cette surface. Il est évident que l'on pourrait devoir à des causes purement locales la fusion et l'éruption de matières granitiques antérieurement consolidées; mais la simplicité d'un principe qui, combiné avec la chaleur centrale, loin de se borner à n'agir que sur des étendues limitées, s'applique à la surface entière de notre

planète; cette simplicité, disons-nous, est si frappante, que l'on est conduit à regarder ce principe comme la source de plusieurs phénomènes géologiques importants. Supposons, par exemple, que la profondeur de la température capable de fondre le granite, passe au-dessous d'une masse de gneiss; qu'une masse fondue de grünstein ou d'une autre roche analogue, s'injecte à travers une fissure due à l'une quelconque des causes que nous avons mentionnées dans le cours de cet ouvrage, et que cette matière en fusion se répande à la surface du sol, le degré de chaleur nécessaire à la fusion du granite, se trouvera par suite à une moins grande profondeur qu'avant l'éruption du grünstein, surtout si la surface avait passé de l'état d'immersion à celui d'émersion; le gneiss fondrait donc jusqu'à la hauteur correspondant à la nouvelle limite, et on aurait au-dessous de l'écorce terrestre une masse de matière granitique en fusion, prête à être poussée à la surface à la première circonstance favorable, telle qu'un renouvellement des causes qui avaient produit la fente originaire et qui, plus tard, l'avaient rouverte pour l'éruption du grünstein.

Lorsqu'on examine l'ensemble des roches ignées, on trouve que, tandis que toutes paraissent dues au mélange de certains silicates, la silice elle-même est plus abondante dans les roches granitiques que dans les *trappéennes* (nom de convention, qui comprend les grünsteins et les roches analogues); c'est du moins ce qui résulterait des calculs relatifs à la composition chimique de ces diverses roches. Que si l'on admet, ainsi qu'on paraît autorisé à le faire, que le granite, considéré comme roche ignée, a été produit en plus grande abondance aux époques les plus anciennes qu'à celles qui ont suivi, on arrive à conclure que non-seulement la silice abondait dans les terrains stratifiés de ces périodes anciennes, quel que fût d'ailleurs le mode de production de ces terrains, mais qu'elle existait encore en très-grande quantité dans les masses non stratifiées de la même époque; et par suite, que pendant la consolidation de la croûte de la terre, le *silicium*, ayant été une des premières substances à s'oxider, produisit, par sa combinaison avec d'autres substances, cette grande quantité de silicates qui s'observent à la partie inférieure de l'écorce solide du globe. Il ne s'agit point ici de chercher à savoir pourquoi la silice diminuerait en quantité à mesure qu'on approcherait du centre de la terre; seulement on est porté à croire que cette diminution a lieu, si l'on admet que la matière des roches trappéennes, prises en masse, a été originairement inférieure aux granites, et qu'elle a été épanchée à la surface à mesure que ceux-ci se solidifiaient.

Tandis que la silice diminue dans les roches trappéennes prises en masse, la proportion de la magnésie et surtout celle de la chaux y augmentent; ce qui établit à deux époques géologiques très-différentes une analogie remarquable entre la masse des roches aqueuses et ignées, car la chaux est certainement plus abondante dans l'ensemble des terrains modernes que dans les anciens. Il est naturel de se demander si l'abondance de la chaux ainsi distribuée par divers moyens à la surface de la terre, à une époque plus qu'à une autre, ne tiendrait pas à ce qu'il y aurait eu à une de ces époques des communications plus libres entre la surface et la masse inférieure à l'écorce du globe; et si la consolidation d'abord, puis une fracture de la croûte qui faisait obstacle à ces communications, n'auraient pas été une des causes principales de ce phénomène.

Cette différence de composition des roches ignées tient surtout à la présence de l'amphibole, dans laquelle la chaux entre pour environ 135 millièmes, et la magnésie pour environ 185 millièmes. L'amphibole est beaucoup plus commune dans les roches ignées modernes que dans les anciennes; elle ne manque pourtant point totalement dans celles-ci, car on en trouve dans des granites d'un âge géologique en apparence fort ancien; et l'on voit quelquefois des roches amphiboliques associées au gneiss, au micaschiste et à d'autres assises des terrains stratifiés inférieurs; mais on ne peut guère nier que, prises en masse, les roches amphiboliques et pyroxéniques ne soient plus abondantes dans les terrains d'une date géologique plus récente.

Rien n'est plus commun dans les roches ignées, que des changements minéralogiques ayant lieu dans une même masse et à de petites distances. On peut trouver dans une même colline, du grünstein, du porphyre et de la siénite, passant l'un à l'autre d'une manière si insensible, que l'on ne saurait guère lequel de ces trois noms il faudrait donner à la masse entière; aussi les géologues, voulant éviter l'extrême difficulté, pour ne pas dire l'impossibilité, de donner en peu de mots une idée exacte du changement de structure de ces roches, ont préféré les comprendre sous un nom général tel que celui de *roches trappéennes*. Quelquefois cette différence de structure minéralogique est plutôt apparente que réelle, c'est-à-dire que la composition chimique de deux roches ignées peut être la même et leur apparence minéralogique différente; cette différence apparente tient alors aux circonstances auxquelles les diverses parties de la roche ont été respectivement soumises, circonstances desquelles a pu résulter sur un point une structure porphyrique, et sur un autre une texture cristalline plus confuse.

On doit s'attendre à trouver la cristallisation des minéraux composant une roche, d'autant plus développée que le refroidissement de la masse ignée s'est fait d'une manière plus lente; et c'est là, en effet, ce qui se voit dans les expériences de nos laboratoires sur le refroidissement des masses en fusion, quelque imparfaites que soient nécessairement ces expériences. C'est pourquoi, lorsqu'on observe des filons de granite, de grünstein ou d'autres roches ignées, partant de massifs de ces roches et pénétrant dans des terrains contigus qui avaient été fracturés avant la pénétration de la matière ignée, on trouve le plus souvent que la disposition minéralogique des molécules constituantes des filons est différente de celle des masses dont ces derniers divergent. Lorsque les circonstances sont favorables, on peut suivre des filons de granite qui partent de masses granitiques ayant des caractères prononcés, telles que celles du Devonshire et du Cornouailles, jusqu'à ce qu'ils aient perdu toute texture cristalline : c'est là une observation d'un intérêt tout particulier; car, à moins de suivre ainsi les changements progressifs de structure dans les filons, on ne pourrait guère être persuadé qu'une veine de feldspath compacte, par exemple, fît continuité avec une masse de granite si parfaitement cristallisée, que l'on y voit dans quelques toises cubes de roche des milliers de gros cristaux de feldspath ou d'albite.

Il résulte de là que, toutes choses égales d'ailleurs, plus une roche en fusion sera entourée de mauvais conducteurs de la chaleur, plus elle prendra, en se refroidissant, la texture cristalline; et par suite (en admettant qu'il existe une chaleur centrale et que les roches en général sont de mauvais conducteurs de la chaleur), que plus l'injection d'une roche en fusion se fera au-dessous de la surface de l'écorce solide de la terre, plus cette roche sera cristalline après son complet refroidissement. Il ne faut point conclure de là, ainsi qu'on a voulu le faire, que toute la différence entre les diverses roches ignées provient du plus ou moins de rapidité dans leur refroidissement, et que le grünstein aurait été du granite, s'il s'était refroidi d'une manière plus lente. Sans doute que les granites n'ont point une composition chimique constante, et il en est de même des grünsteins; mais cependant la matière des uns est toujours trop distincte de celle des autres pour que l'une de ces roches puisse jamais passer à l'autre par de simples différences dans le mode de refroidissement. La différence de composition chimique de ces deux roches est évidente, si l'on prend pour exemple un granite composé de deux cinquièmes de quarz, deux de feldspath et un de mica, ce qui peut être regardé comme la composition moyenne des granites ordinaires, et un grün-

stein composé de parties égales de feldspath et d'amphibole, ce qui est la composition moyenne des grünsteins, et que l'on compare entre elles les compositions chimiques de ces deux roches telles que les donne le calcul.

	Granite.	Grünstein.	Différence.
Silice	74,84	54,86	19,98
Alumine	12,80	15,56	2,76
Potasse	7,48	6,83	0,65
Magnésie	0,99	9,39	8,40
Chaux	0,37	7,29	6,92
Oxide de fer	1,93	4,03	2,10
Oxide de manganèse	0,12	0,11	0,01
Acide fluorique	0,21	0,75	0,54

Les roches des terrains inférieurs, stratifiées ou non stratifiées, peuvent passer à l'état de fusion et être poussées de nouveau à la surface d'après des causes purement locales, telles que l'infiltration de l'eau à travers de nouvelles fissures d'une partie de l'écorce qui n'aurait pas subi depuis longtemps de dislocations, jusqu'aux bases métalliques de certaines terres et alcalis; ou bien d'après la cause plus générale des changements dans les profondeurs des points de fusion des roches, dus aux changements qui se produisent à la surface correspondante du sol dans la facilité du rayonnement. Il suit de là que l'on ne peut savoir si certaines roches trachytiques, dont la composition chimique est souvent si voisine de celle des granites, résultent de la fusion de roches précédemment consolidées, ou bien si elles ont fait originairement partie de la matière granitique et n'ont jamais été refroidies avant leur émission par les orifices volcaniques d'où sont sortis les trachytes. Dans certaines régions volcaniques les terrains trachytiques, pris en masse, sont situés au-dessous des basaltes, pris en masse aussi; ce résultat peut tenir à deux causes différentes : des granites ou des gneiss peuvent avoir subi une nouvelle fusion et avoir été portés au jour à cet état, avant que la matière basaltique ne s'épanchât avec quelque abondance; ou bien la matière granitique, d'après sa moindre pesanteur spécifique, peut avoir surnagé sur le bain de basalte, et par suite, se trouvant plus près de l'orifice lors de son ouverture, elle en aura été rejetée la première. Il est des localités où le trachyte paraît n'être qu'un granite qui a été refondu et qui a changé d'aspect par suite des diverses actions qu'il a dû subir; il existe même des échantillons provenant de l'Auvergne, qui sont en partie granite et en partie trachyte, les deux roches passant insensiblement l'une à l'autre.

Si des masses de granite, de grünstein, de basalte ou d'autres roches analogues situées à la surface de la terre, viennent à être chauffées progressivement à leur base intérieure, et sur un point de cette base plus que sur les autres points voisins, le degré de chaleur capable de ramollir ou rendre pâteuses ces roches, s'approchant continuellement, quoique lentement, de la surface, cette surface devra se bosseler ou s'élever en forme de dômes; d'abord par l'augmentation de volume produite par la chaleur appliquée sur un point plus que sur un autre, et ensuite par l'action des fluides élastiques qui pourraient chercher à se dégager. C'est dans les régions volcaniques qu'on trouve les dômes de trachyte et d'autres substances analogues; et lorsqu'on attribue leur production ou du moins une part de cette production à l'effort que font des fluides élastiques qui cherchent à se dégager, on ne fait qu'appliquer à un cas particulier les phénomènes résultant de l'action volcanique générale.

Maintenant, si l'on admet qu'une masse de matière solide passe à l'état pâteux par une augmentation progressive de température, et que les fluides élastiques sont comprimés au-dessous, la quantité de soulèvement qui se produira lorsque la tension de ces fluides sera capable de soulever la masse pâteuse, dépendra d'un côté de la force des fluides élastiques, et de l'autre, de la viscosité plus ou moins grande de la masse échauffée. Si la tension des fluides élastiques est considérable et que la masse des roches cède à son effort, le résultat dépendra, en grande partie, de la manière dont cette masse aura cédé; si elle était visqueuse ou pâteuse, elle pourra se boursoufler en forme de dôme, tandis que si elle était aigre et cassante, elle sera fracturée, et les fluides élastiques s'échapperont à travers les fentes. A mesure que les fluides élastiques se dilateront sous un tel dôme, ils deviendront moins capables de soulever le terrain au-dessus qu'ils ne l'étaient dans leur état de plus grande compression, avant le bombement de la surface; et la roche du dôme soulevé, elle-même, se trouvant plus éloignée de la grande chaleur intérieure, tendra à devenir moins pâteuse: la combinaison de ces deux causes empêchera le soulèvement du dôme au delà du point auquel les diverses actions se feront équilibre l'une à l'autre, et l'on aura en dernier résultat quelque chose de très-approchant des dômes trachytiques et basaltiques qui paraissent avoir été produits avec une forme très-voisine de celle qu'ils ont aujourd'hui, tout en tenant compte de l'action postérieure qu'ils ont eu à subir de la part des agents atmosphériques.

Les diverses roches ignées paraissent exiger, pour passer à l'état

de fusion, des températures très-différentes; les serpentines sont les plus réfractaires de ces roches, et les basaltes et les laves diverses les plus facilement fusibles. Dans une esquisse générale telle que celle-ci, on peut ne point tenir compte des roches serpentineuses, quoiqu'elles forment, dans quelques localités, des masses considérables, disposées de manière à ne point laisser de doute sur leur origine ignée; car l'ensemble total de ces roches n'offre rien de comparable en volume à la masse totale des roches granitiques et trappéennes. Ces deux dernières roches diffèrent considérablement sous le rapport de la fusibilité, les granitiques étant de beaucoup plus réfractaires que les autres; de sorte que, si l'on admet que la masse des roches granitiques a été produite lors de la première consolidation de la surface de notre planète, il s'ensuivrait que les roches ignées qui ont été épanchées à des époques comparativement récentes, sont composées de matières plus fusibles que celles des roches des époques plus anciennes. Cette différence de fusibilité paraît tenir surtout à la présence dans les roches trappéennes d'une beaucoup plus grande quantité de silicate de chaux que l'on n'en trouve dans les granites. Il suivrait de cette différence qu'on pourrait avoir à une profondeur donnée au-dessous de la surface de l'écorce terrestre, une chaleur capable de tenir en fusion les matières trappéennes, tandis que les matières granitiques n'éprouveraient pas un effet semblable à la même température, et par conséquent qu'il ne pourrait y avoir d'éruptions de matières granitiques venant aujourd'hui de cette profondeur donnée, quoique, lorsque la température était plus élevée et capable à cette profondeur de fondre les granites, la matière granitique en fusion ait pu être portée au jour la première, puisque sa pesanteur spécifique était moindre, et qu'elle se trouvait probablement plus voisine de la surface. On doit s'attendre à trouver, et l'on trouve souvent, en effet, des associations accidentelles de matières trappéennes et granitiques, constituant quelquefois une seule et même masse, dans laquelle il se fait un passage insensible d'une des roches à l'autre, par la disparition du mica, qui, en lui-même, est très-réfractaire, et qui se trouve remplacé par l'amphibole, substance d'une fusion très-facile. L'âge de plusieurs de ces masses ignées n'est cependant pas encore assez bien déterminé pour qu'on en puisse tirer des conséquences exactes, relativement à l'hypothèse qui admettrait que la grande masse des granites a été portée au jour aux époques géologiques les plus anciennes, et celle des roches trappéennes à des époques beaucoup plus récentes.

L'examen des terrains fossilifères nous fournit la preuve que,

dès la première production de ces terrains, il existait des terres émergées et des mers peu profondes. On en pourrait conclure qu'il se faisait dès lors des éruptions de matières ignées dans l'atmosphère même, et que les fluides élastiques qui se faisaient jour par les orifices volcaniques, devaient entraîner et répandre autour des volcans, des cendres et des sables volcaniques. Il est nécessairement fort difficile de reconnaître et de suivre les traces de ces anciennes éruptions, qui disparaissent, généralement parlant, d'autant plus complétement que les terrains dans lesquels on les cherche sont plus anciens. Il est cependant certaines localités dans lesquelles on trouve des roches ignées, des trapps particulièrement, qui paraissent contemporains des couches dans lesquelles ils sont intercalés; c'est-à-dire qu'ils auraient coulé sur les assises qui les supportent, et que plus tard ils auraient été recouverts eux-mêmes par le dépôt tranquille de matières de transport ou autres; précisément comme un courant de lave peut couler par-dessus un fond de sable et être recouvert plus tard par un dépôt de sable ou de vase. Il est parfaitement reconnu que des roches trappéennes sont associées, sur plusieurs points de l'Europe, avec les assises inférieures de la grauwacke, d'une manière qui, souvent, ne laisse point lieu à douter qu'une partie des trapps ait été formée ainsi que nous venons de le dire, et n'ait point été intercalée entre les couches de la grauwacke postérieurement à leur consolidation; tandis que d'autres trapps se sont évidemment fait jour à travers la grauwacke, quelquefois même en coupant les assises de ceux qui avaient coulé librement à la surface. Il est à remarquer souvent que ces assises de grünstein ou de porphyre, quoique fort épaisses sur quelques points, se terminent en s'amincissant entre les couches de la grauwacke, et que leur extrémité présente les caractères d'un dépôt arénacé de matières trappéennes très-atténuées, comme si cette partie de l'assise résultait d'un dépôt de cendres trappéennes qui auraient été rejetées de l'intérieur lors de la production du trapp lui-même.

Nous avons eu l'occasion d'observer parmi les grünsteins et les porphyres de la grauwacke ancienne du Devonshire et du Cornouailles, des accumulations considérables de ces matières trappéennes atténuées, qui non-seulement s'étendaient en couches suivies parallèles à la stratification générale de la grauwacke, mais qui quelquefois étaient disposées de manière à faire soupçonner qu'il avait pu se faire sur ces points des éruptions, soit immédiatement dans l'atmosphère, soit sous des eaux peu profondes qui auraient permis le passage et la dispersion des cendres trappéennes. C'est surtout un endroit nommé *Brent Tor*, au nord de *Tavistock*, qui est particulièrement

remarquable sous ce rapport; car on y observe un conglomérat dont quelques-uns des éléments ont toute l'apparence de cendres volcaniques, dont les vacuoles auraient été remplis, à la longue, par des infiltrations de silice ou d'autres matières. Le plongement des couches n'étant point là aussi considérable que dans le restant du pays, on peut suivre pendant quelque temps l'assise de cendres, et on la voit passer aux roches trappéennes arénacées que nous avons citées plus haut. Le pays est composé sur plusieurs milles carrés, soit de grauwacke, de grünstein, ou de porphyre, tous à l'état arénacé; ou bien de ce trapp arénacé qui a tant d'analogie avec d'anciens dépôts de cendres volcaniques. Comme *Brent Tor* présente (par suite de circonstances accidentelles qui n'ont point de rapport avec sa structure géologique) l'apparence d'un volcan, qu'on pourrait considérer comme relativement moderne, il est bon d'ajouter que les diverses assises dont nous venons de parler, peuvent facilement se suivre entre les couches de la grauwacke, avec laquelle elles sont évidemment associées.

Nous ne sommes entré dans les détails qui précèdent, qu'afin de prouver que l'on observe dans les terrains fossilifères les plus anciens, des faits qui conduisent à supposer qu'il y avait eu dès lors des éruptions de matières ignées dans l'atmosphère ou sous des eaux peu profondes, et que l'on peut, en conséquence, s'attendre à trouver dans des circonstances favorables des faits analogues dans les autres terrains fossilifères des divers points de la surface du globe.

Le dépôt des divers terrains fossilifères n'a pas été interrompu seulement par l'éjection des matières ignées de différentes époques, mais encore par les phénomènes comparativement beaucoup plus puissants qui ont disloqué l'écorce terrestre de manière à produire les chaînes de montagnes, à redresser et contourner les couches de cette écorce sur de grandes étendues, et à modifier ainsi des portions de la surface terrestre dont l'état physique se trouvait, par suite de ces dislocations, tout autre de ce qu'il était précédemment. M. Élie de Beaumont croit que l'on peut reconnaître, en Europe, au moins douze époques principales de dislocation, qui ont été suivies par autant de changements dans les dépôts sédimentaires de cette même partie du globe. Nous sommes forcé de renvoyer le lecteur aux travaux de M. Élie de Beaumont lui-même, pour les preuves que l'on peut citer à l'appui de sa théorie[1]; mais

[1] *Recherches sur les révolutions de la surface du globe* (*Annales des sciences naturelles*, 1829 *et* 1830). Le lecteur trouvera aussi un aperçu des idées actuelles de M. de Beaumont à ce sujet dans la traduction française du *Manuel géologique*, art. *Soulèvement des montagnes*.

nous pouvons admettre à l'avance que, si les chaînes de montagnes doivent leur existence à des causes analogues à l'une de celles que nous avons indiquées vers le commencement de cet ouvrage, elles doivent se trouver comme entremêlées dans une quantité de dislocations de moindre importance, qui auront résulté des mêmes causes, mais agissant avec une moindre énergie, analogue à celle des tremblements de terre ordinaires. Tout ce que l'on sait de ces derniers phénomènes, c'est que la cause qui les produit varie dans son intensité; et comme on en ressent dans toutes les parties du monde, dans celles qui sont éloignées des orifices volcaniques aussi bien que dans celles qui leur sont plus voisines, on a le droit de conclure que leur cause générale est située au-dessous de la surface de la terre, quoique, par suite de circonstances locales, les tremblements de terre puissent, dans les diverses périodes géologiques, agir avec plus d'intensité sur un point que sur un autre, leur énergie étant en général la plus grande près des orifices volcaniques des diverses périodes. La théorie de la chaleur centrale, et celle de l'infiltration de l'eau jusqu'à certaines bases métalliques des terres et des alcalis, que l'on pourrait appeler la théorie volcanique, offrent deux ordres de causes capables de produire des ruptures dans l'écorce terrestre. Les mouvements moins importants, tels que les tremblements de terre, peuvent résulter de l'une quelconque de ces deux causes; tandis que les dislocations plus vastes et plus générales qui ont produit les grandes chaînes de montagnes, paraissent se rapporter plutôt au refroidissement progressif du globe. On doit bien s'attendre à ce que l'action volcanique viendra considérablement modifier les effets produits par les grandes dislocations, car les grandes lignes de fracture seront celles qui offriront les chances les plus favorables pour l'apparition des volcans; mais cette action, prise en elle-même, ne paraît nullement comparable à celle qui a pu produire les grands soulèvements qui ont donné lieu aux chaînes de l'Himalaya, des Alpes, et autres.

Il est tout naturel que les effets produits par les ruptures relativement considérables de l'écorce terrestre, se reconnaissent plus facilement dans les terrains qui ont formé plus récemment la surface de la terre, que dans ceux qui avaient précédé; car les ruptures de ceux-ci ont été nécessairement exposées à plus de causes qui auront pu les masquer, telles que l'accumulation des couches qui les ont recouvertes, et autres actions semblables. Indépendamment des grands contournements et des fractures si fréquentes dans les couches, on trouve des fragments de roches, d'un volume et d'un poids considérables, qui ont été détachés de leur place originaire et

transportés à de grandes distances. Ces fragments sont connus généralement sous le nom de *blocs erratiques*. A en juger par leur position géologique, il doit s'être produit en Europe au moins deux accumulations de ces blocs à des époques géologiques comparativement récentes. Une dispersion de blocs erratiques s'est faite de la chaîne des Alpes comme centre vers les deux versants de cette chaîne; une autre paraît être venue du Nord vers le sud de l'Europe. On ne sait pas jusqu'à quel point les époques de ces deux phénomènes ont été éloignées entre elles; mais on est certain du moins que tous deux ont été produits à des époques géologiques fort récentes, puisque les blocs qui ont été ainsi transportés reposent sur des terrains comparativement peu anciens. Il paraît certain que les vallées principales des Alpes avaient pris déjà leur configuration actuelle à peu de chose près, car les blocs descendus de la chaîne centrale ont suivi ces vallées, dans lesquelles ils ont laissé des preuves évidentes de leur passage, tandis que les accumulations principales des blocs se trouvent vis-à-vis du débouché de ces vallées. M. Élie de Beaumont a suggéré une idée bien simple pour expliquer le transport des blocs alpins; il suppose que, lors du dernier soulèvement des Alpes, la chaleur qui se dégagea à travers les fissures auxquelles ce mouvement donna lieu, fondit instantanément les neiges qui existaient auparavant sur ces montagnes, ce qui produisit une vaste masse d'eau capable de balayer devant elle les blocs erratiques actuels et de les transporter le long des vallées, dans les localités où on les voit aujourd'hui. Si l'on ajoute la probabilité que les glaciers (en supposant que les Alpes fussent dès lors assez élevées pour qu'il pût s'y en former) étaient couverts, comme aujourd'hui, d'une multitude de blocs, on aura dans ce mode facile de transport, joint à l'action soudaine d'une grande masse d'eau se précipitant vers le bas des vallées, une explication plus plausible des phénomènes observés, que ne l'est la supposition d'une masse d'eau immense qui aurait inondé tout le pays, ce qui n'expliquerait pas aussi bien la dispersion presque uniforme, suivant tant de vallées principales, des matériaux solides arrachés à la chaîne centrale des Alpes et transportés dans toute direction en dehors du domaine de ces montagnes. La seule question qui reste à résoudre dans cette hypothèse, est celle de savoir si la fonte subite des neiges des Alpes, même dans leur état actuel, pourrait produire une masse d'eau capable de transporter les blocs erratiques. Dans quelques positions favorables, telles que le *Monte San Primo*, qui s'élève au-dessus du lac de *Como*, les blocs erratiques se trouvent pêle-mêle avec des fragments plus petits et des graviers; le tout présente l'aspect d'un

dépôt tumultueux ; ailleurs, sur le *Jura,* par exemple, de gros blocs sont perchés à de grandes hauteurs et forment des lignes sur le flanc des montagnes. M. Élie de Beaumont a fait voir comment, dans la vallée de la Durance, les blocs diminuent de volume et s'arrondissent davantage à mesure qu'ils s'éloignent des montagnes au-dessus de Gap, jusqu'à ce que toute la matière de transport se réduise aux cailloux qui recouvrent la vaste étendue de terrain connue sous le nom de *la Crau.* On peut observer des faits analogues dans d'autres vallées. Peut-être pourrait-on reconnaître dans le *lœss* de la vallée du Rhin, les restes d'un détritus plus atténué encore, qui se serait accumulé sur une épaisseur de 200 ou 300 pieds, et qui présente aujourd'hui des signes évidents d'un transport violent. Cette supposition est rendue plus probable par l'abondance des cailloux alpins que l'on voit reposer sur les divers terrains à la limite du *lœss* dans les parties les plus élevées de la vallée du Rhin, cailloux qui auraient été transportés là par une grande inondation ayant suivi la vallée.

La seconde des grandes accumulations de blocs erratiques, que nous avons citée plus haut, paraît due à une cause plus générale encore, car ces blocs sont abondamment dispersés, non-seulement dans l'Europe septentrionale, mais encore dans les latitudes correspondantes de l'Amérique; dans l'un et l'autre de ces continents les blocs paraissent évidemment venus du Nord[1]. On en conclut qu'une cause quelconque, située dans les régions polaires, a agi de manière à produire cette dispersion de matières de transport sur une certaine partie de la surface du globe. Nous ne connaissons aucun autre agent que l'eau en mouvement, qui ait pu opérer un pareil transport; il faut donc admettre qu'une cause quelconque a donné lieu dans les régions polaires, à un mouvement d'eau qui s'est étendu dans diverses directions, à partir comme d'un point central. Or, si les montagnes peuvent être produites de la manière que nous avons indiquée vers le commencement de ces Recherches, on ne voit aucune raison pour qu'un soulèvement brusque du sol n'ait pu avoir lieu sous les mers polaires aussi bien que sur tout autre

[1] M. le professeur Hitchcock a donné une description très-détaillée et très-exacte des blocs erratiques de l'État de Massachussets (*Report on the Geology of the State of Massachussets*, p. 141 à 171, Amherst, 1833), qui sont très-abondants et mêlés à des détritus moins volumineux (*diluvium*). Il cite des preuves très-satisfaisantes de l'origine septentrionale de toute cette masse de transport; et ces preuves coïncident avec celles qui résultent des recherches faites par MM. Bigsby, Lapham, Jackson, Alger et autres, dans diverses parties de l'Amérique septentrionale.

point de la surface du globe, et les conséquences nécessaires de ce soulèvement auraient été des vagues proportionnées à la force qui les avait occasionnées. Ces vagues d'eau tendraient nécessairement à flotter vers le Sud les glaciers des mers polaires avec leur charge ordinaire de blocs détachés; mais leur action principale aurait lieu à la rencontre des côtes, là où les vagues, au lieu d'être simplement de grandes ondulations d'eau, deviendraient des brisants monstrueux, ayant un grand mouvement d'impulsion, et par conséquent une grande puissance de transport et de dénudation, que l'on peut apprécier en se rappelant que les vagues comparativement insignifiantes qui se brisent sur les côtes pendant les tempêtes, peuvent rompre en fragments volumineux des digues solides de maçonnerie très-compacte, et chasser devant elles ces fragments détachés. Cette hypothèse répondrait assez aux divers phénomènes observés, car tous les blocs ne sont pas venus de grandes distances; il en est qui ont été arrachés de différents points. La trace de plusieurs des blocs erratiques de l'Angleterre peut se suivre vers le Nord, et l'on retrouve dans les îles Britanniques elles-mêmes leur place originaire. M. le professeur Hitchcock a fait voir que la même chose a lieu aux États-Unis[1]. Le plus grand nombre des blocs dispersés avec une telle abondance sur diverses parties de l'Allemagne, de la Suède, de la Pologne et de la Russie, viennent évidemment de terrains situés au nord de ces blocs, dont les caractères minéralogiques et autres ne laissent aucun doute à cet égard. Plusieurs des effets du brisement des vagues venant du Nord, sont faciles à imaginer; on doit s'attendre, entre autres choses, à trouver des accumulations locales considérables de blocs venus de différents points du globe. Cet effet est bien visible dans le *diluvium* de Holderness sur les côtes du *Yorkshire*, où, suivant M. Phillips, l'on voit une argile enveloppant divers fragments de roches qui paraissent provenir de la Norwége, des montagnes de l'Écosse, de celles du *Cumberland* et de l'*Yorkshire* même, tandis qu'une grande partie des fragments paraît avoir été transportée depuis les côtes de la mer près de *Durham* et de *Whitby*; les blocs sont plus ou moins arrondis, suivant qu'ils viennent de localités plus ou moins éloignées.

Quelle que soit la théorie que l'on voudra adopter pour expliquer le phénomène des blocs erratiques et rendre compte de tous les faits qui les accompagnent, on devra toujours s'accorder à regarder ce phénomène comme un des faits géologiques de la plus haute importance; car la dispersion des blocs erratiques, unie aux grands

[1] *Report on the Geology, etc., of Massachussets*, art. *Diluvium*. Amherst, 1833.

contournements et aux dislocations puissantes que l'on observe si souvent dans les différents terrains, nous apprend que, tout en appréciant à leur juste valeur les actions lentes et continuées dont nous sommes témoins chaque jour, nous ne devons point négliger les faits géologiques d'un autre ordre, qui, tout en paraissant prodigieux si on les mesure à l'échelle ordinaire de nos sens, ou si on les compare aux effets produits par les mêmes forces agissant avec moins d'intensité, sont pourtant insignifiants si on les rapporte à la masse du sphéroïde à la surface duquel ces faits ont eu lieu.

Les recherches récentes des astronomes ont rendu extrêmement probable, pour ne point dire certaine, l'existence d'un milieu résistant, à travers lequel circuleraient les planètes. Ce milieu résistant une fois admis, il s'ensuit que tous les corps planétaires avec leurs satellites doivent finir par tomber sur le soleil, et que, par conséquent, il n'y a réellement aucune stabilité dans le système solaire, qui se trouve dans un état constant de changement, très-lent à la vérité, et devant se continuer indéfiniment. Il doit se passer des myriades de ces révolutions de la terre autour du soleil d'après lesquelles l'homme mesure ce qu'il croit de longues périodes de temps, avant que notre globe cesse de se mouvoir comme planète; mais si ce mouvement se fait réellement dans un milieu résistant, et si la série générale des événements ne vient point à être interrompue par quelque cause extraordinaire, la terre doit un jour faire partie constituante du soleil, qui lui-même circule probablement parmi d'autres corps d'un volume égal et plus grand que le sien, et qui est destiné, autant qu'il nous est permis d'en juger, à être plongé avec d'autres corps semblables dans quelque masse de matière encore plus grande.

On ne peut songer à ce terme de l'existence de la terre, sans s'apercevoir qu'il doit nécessairement s'ensuivre un changement lent, mais certain, dans les conditions de la surface terrestre, même en supposant qu'il n'existe point de causes intérieures d'un tel changement. Toute l'organisation animale et végétale qui existe aujourd'hui sur le globe, est appropriée de la manière la plus élégante, ainsi que M. Whewell l'a si bien exprimé[1], aux conditions sous lesquelles elle se trouve placée. Il est probable qu'une grande partie des êtres organisés pourront s'adapter jusqu'à un certain point à de tels changements; mais il y a nécessairement des limites

[1] *Bridgewater Treatise; On Astronomy and General Physics.*

à cette faculté de s'adapter aux circonstances; et la vie qui se trouve assujettie à de certaines conditions, doit périr lorsque ces conditions cessent d'exister. Il est évident que lorsque l'orbite de la Terre ne serait pas plus grande que celle de Vénus, il y aurait à sa surface un grand changement dans les conditions de la vie; que ce changement deviendrait plus grand à mesure que l'orbite terrestre diminuerait encore; de sorte que, s'il y avait alors des êtres vivants à la surface terrestre, ainsi qu'on est en droit de le supposer, ces êtres devraient être appropriés aux nouvelles conditions auxquelles ils se trouveraient soumis. Il n'est pas plus difficile de concevoir l'existence d'une telle organisation, que d'admettre qu'il existe aujourd'hui des animaux et des végétaux destinés à vivre sous la zone torride, et d'autres destinés aux régions polaires; qui tous périraient si on les sortait des climats pour lesquels ils ont été créés, et des conditions auxquelles toute leur organisation est si bien adaptée.

La probabilité de ces changements futurs dus à des causes extérieures, nous conduit naturellement à porter nos regards en arrière sur ceux que les phénomènes géologiques nous prouvent s'être opérés jadis à la surface du globe. Soit que l'on admette avec Laplace, que notre système solaire résulte de la condensation d'une matière nébuleuse, analogue à celle que les astronomes nous ont prouvé exister sur différents points des vastes régions de l'espace; condensation pendant laquelle les planètes et leurs satellites auraient été séparés de la masse principale, qui constituerait aujourd'hui le soleil; soit, d'un autre côté, que l'on veuille que le soleil, les planètes et leurs satellites aient été créés originairement dans les positions relatives qu'ils occupent aujourd'hui; la connaissance des faits observés nous conduira toujours à conclure que la terre n'a pu prendre sa figure actuelle qu'étant à l'état liquide, et qu'une très-haute température était nécessaire à l'existence de cette liquidité. Autant que nous pouvons en juger, nous serions parfaitement d'accord avec M. Whewell, et nous admettrions avec lui que le plan de la création serait tout aussi sublime si le système solaire résultait de la condensation d'une matière gazeuse, que s'il avait été créé d'abord tel qu'il existe aujourd'hui. Il y a pourtant une différence entre ces deux hypothèses, et c'est que la première nous donne du grand système de l'univers une idée beaucoup plus noble et plus splendide que la dernière, et par conséquent c'est la première de ces hypothèses que nous nous sentirions le plus disposé à adopter, *à priori*.

Si la terre a été fluide, et si cette fluidité était due à l'action de la chaleur, il s'en est suivi, d'après la figure du globe et les lois

connues de la chaleur, que sa surface a dû se consolider par le rayonnement de la chaleur interne; que cette surface a dû même comparativement se refroidir, tandis que l'intérieur conservait encore une très-haute température. En s'élevant dans l'atmosphère on a la preuve directe que la chaleur diminue à mesure qu'on s'éloigne du centre de la terre; et les calculs de Fourier, ainsi que ceux de Swanberg, fondés sur des principes différents, s'accordent à donner aux espaces planétaires une température d'environ 50° centigrades. Il a donc dû arriver un temps auquel la surface de la terre, exposée peut-être pendant des millions d'années à cette température, était devenue comparativement froide, en admettant même que la chaleur contenue dans la masse du globe ait pu jadis être suffisamment intense pour tenir à l'état gazeux toute la matière dont ce globe se compose. Il a dû se produire, pendant le refroidissement, de nombreuses combinaisons chimiques, et finalement la surface du globe se sera trouvée dans de telles conditions que sa température au-dessus de celle de l'espace ambiant n'aura plus tenu qu'à l'influence du soleil, et que par conséquent cette température aura été plus élevée dans les régions équatoriales que dans celles voisines du pôle.

D'après nos connaissances sur la matière qui compose la partie accessible de la planète terrestre, nous sommes en droit de conclure qu'un décroissement général dans la chaleur du globe produirait une diminution dans son volume, et par suite que la vélocité de son mouvement en serait augmentée. Cette accélération suffirait seule pour occasionner un changement dans les circonstances desquelles dépend l'organisation qui existe à la surface de la terre; mais lorsqu'on ajoute la diminution progressive de la température de cette surface par des causes intérieures, et l'augmentation qui en résulte dans l'action de la chaleur solaire d'un côté, et de l'autre l'influence de la basse température des espaces planétaires, on a une série de conditions qui rendent presque impossible qu'un ensemble déterminé d'animaux ou de plantes puisse continuer à exister à travers tous ces changements, si l'on en juge par ce que nous voyons partout de l'appropriation constante de l'organisation aux circonstances dans lesquelles elle se trouve placée. Or, il est évident, d'après la différence entre les débris organiques des divers terrains fossilifères, que de grands changements ont eu lieu parmi les animaux et les végétaux qui ont existé à la surface de la terre durant le temps immense qu'a exigé le dépôt de ces terrains. On pourra peut-être bien découvrir çà et là, lorsque la structure géologique de la surface de la terre aura été plus complétement examinée, de légères oscillations, pour ainsi dire, dans le changement progressif

des êtres organisés; des animaux et des plantes auront continué à exister dans quelques localités plus longtemps que dans d'autres; mais il ne paraît nullement probable que les preuves actuelles, indiquant un grand système de changement général dans la vie animale et végétale, depuis la première apparition de l'organisation à la surface de notre planète, viennent à être infirmées par de nouvelles découvertes sur la distribution générale des fossiles.

Nous sommes loin de vouloir conclure qu'un grand nombre de formes générales, celles des mollusques surtout, qui se trouvent dans les plus anciens des terrains fossilifères, ne se soient point continuées jusqu'à nos jours; mais, en prenant l'ensemble des choses, nous croyons que l'état actuel de nos connaissances conduit à admettre un grand système de changement, général quant aux espèces, et très-fréquent quant aux genres, depuis l'état ancien de l'organisation animale et végétale jusqu'à l'organisation actuelle. Nous ne voulons point dire non plus qu'il n'ait pu se produire brusquement quelquefois des changements de second ordre; en effet, les animaux d'espèces perdues qu'on trouve dans les régions polaires, ensevelis dans la glace ou dans des boues gelées, et ayant conservé encore leurs chairs, animaux dont les congénères existent aujourd'hui dans les pays chauds, paraissent prouver suffisamment le fait de ces destructions soudaines d'espèces. Nous ne citerons que l'éléphant trouvé sur les bords de la Léna, et le rhinocéros des bords du Wiluji, espèces qui paraissent, du reste, avoir existé par milliers sur différents points de l'hémisphère boréal, à en juger par l'abondance des ossements que l'on en rencontre dans ces pays.

Les preuves de changement ne se bornent pas à la structure organique; la masse des terrains anciens diffère de même de la masse des terrains qui ont été produits à des époques plus récentes. La principale différence chimique entre ces terrains, consiste dans l'extrême rareté du carbone dans les roches anciennes, tandis qu'il est comparativement abondant dans les récentes; et dans la quantité beaucoup plus grande de chaux qui se trouve dans les couches plus modernes relativement aux anciennes. Il y a en outre des différences d'un autre ordre, dont la plus frappante consiste dans l'absence totale de débris organiques dans un cas, tandis que dans l'autre tout rappelle l'existence d'une ancienne organisation, dont les restes sont quelquefois disséminés dans les roches avec une telle abondance, que si l'on déduisait de la masse des terrains les débris organiques qu'ils renferment, le volume de ces terrains serait réduit d'une quantité considérable.

L'homme est habitué à mesurer le temps par de petites fractions,

qui répondent parfaitement à ses besoins et à ses habitudes; quelques milliers de révolutions de la terre dans son orbite, lui paraissent embrasser des périodes si considérables, qu'il éprouve de la difficulté à concevoir l'immensité des temps que la géologie nous apprend avoir dû s'écouler avant que la surface terrestre pût parvenir à son état actuel; immensité telle que nous ne pourrions point parvenir à l'exprimer en prenant même pour unité l'une quelconque des grandes périodes astronomiques. Tous les faits géologiques concourent à prouver que l'homme est une créature comparativement récente à la surface de la terre, puisqu'on n'a jamais trouvé ni de ses restes, ni des monuments de son industrie, ailleurs que dans les plus récents des dépôts de sédiment. D'après toutes les règles de l'analogie, nous sommes autorisé à conclure qu'avant l'homme aucune créature n'avait possédé à la surface de notre planète une intelligence un peu développée. Il nous est absolument impossible de nous former l'idée même la plus éloignée de la nouvelle création qui viendra remplacer l'homme, lorsque, suivant la théorie, qui paraît bien fondée, de la résistance du milieu dans lequel circule notre planète, la surface de cette planète se trouvera dans des conditions à rendre impossible l'existence du roi actuel de la création; mais il paraît certain, d'après son organisation actuelle, que l'homme doit disparaître de la surface de notre planète, comme tant de créatures en ont disparu avant lui (lors même qu'on ferait abstraction des causes intérieures), si les causes extérieures que nous avons mentionnées plus haut, existent réellement et continuent d'agir sans interruption. Aussi longtemps que la vie pourra exister à la surface de la terre, il serait en opposition avec la sagesse qui se manifeste dans le plan de la création, de croire que le globe circulera dans l'espace sans être habité par des êtres qui se modifieront suivant les conditions existantes; tout comme il serait contraire à la grandeur de ce plan de croire que la terre est la seule planète sur laquelle existe la vie. Nous pouvons donc conclure que, quels que soient les changements que notre planète aura à subir par des causes soit extérieures, soit intérieures, tant que les conditions de cette planète seront compatibles avec la vie, la terre sera habitée par des êtres appropriés à ces conditions, même après que l'homme et les animaux et végétaux terrestres, ses contemporains, auront cessé de vivre à sa surface.

APPENDICE.

Table des situations et des profondeurs auxquelles on a trouvé les genres vivants des coquilles marines et d'embouchure. Par M. W. J. Broderip, membre de la Société royale de Londres, etc.[1]

ANNÉLIDES.

Serpula (comprenant les genres *Vermilia* et *Galeolaria* de Lamarck).	Les espèces sont en général littorales; adhérentes aux rochers, aux galets, aux coquilles, aux crustacés, aux coraux et autres corps marins.
Spirorbis.	Sur les plantes marines, les coquilles, etc.; dans les mêmes situations à peu près que le genre précédent.
Sabella.	Sur les côtes; adhérentes aux coquilles; dans les eaux peu profondes en général.
Terebella.	Dans les mêmes situations à peu près.
Dentalium.[2]	Quelquefois à de grandes profondeurs; le plus souvent près des rivages.

[1] M. De la Bèche m'ayant demandé une table de la situation, de la profondeur et de la nature du fond qu'habitent les coquilles marines et d'embouchure, abstraction faite de leur distribution géographique, je dois témoigner d'abord combien je suis redevable aux secours que m'ont fournis MM. G. B. Sowerby et Cuming; ce dernier surtout, par les observations personnelles qu'il a eu lieu de faire pendant le voyage qui a tant contribué à l'avancement de cette partie de l'histoire naturelle. Cependant j'aurais désiré pouvoir retarder la publication de cette table jusqu'à ce qu'elle fût plus complète et d'une plus grande valeur géologique.

Le signe + indique soit que la profondeur est inconnue soit que l'on n'a pas de données assez précises pour la fixer; le 0 signifie que le genre, en regard duquel il est placé, se trouve quelquefois à la surface même de l'eau ou près de cette surface. W. J. B.

[2] Les observations de M. Savigny et celles de M. Deshayes portent à croire que ce genre approche de bien près des mollusques, si même il ne doit pas être

CIRRHIPÈDES.

Pollicipes.	Adhérents ordinairement aux rochers sur les bas-fonds.
Pentelasmis.	Adhérents aux rochers, etc.; se rencontrent fréquemment dans les hautes mers sur des bois flottés, des liéges de filets, des janthines, des bouteilles; ils adhèrent quelquefois aussi au corps des bâtiments.
Scalpellum.	Adhérents aux coraux, etc.; en général près des rivages.
Otion.	Adhérents aux rochers, et quelquefois à des corps flottants; on en a trouvé d'adhérents à des Coronules.
Cinaras.	Mêmes habitations à peu près; il en existe un groupe au Muséum du collége des chirurgiens de Londres qui adhère à la queue d'un serpent d'eau.
Lithotrya.	Adhérents au fond d'une cavité régulière profonde, creusée apparemment par l'animal dans les rochers.
Balanus.	Sur les rochers et les coquilles, jusqu'à la profondeur de dix brasses; adhérents au corps des bâtiments et à d'autres corps flottants.
Octomeris.	Adhérents aux rochers.
Conia.	Attachés aux pierres, aux rochers, aux coquilles, etc.
Catophragmus.	Adhérents aux Conia; mêmes habitations probablement que ce dernier genre.
Clitia.	Sur les côtes, attachées aux coquilles.
Tubicinella.	Dans la graisse des baleines.
Coronula.	*Idem.*
Chelonobia.	Sur le dos des tortues; adhérentes et quelquefois amarrées à l'écaille de ces animaux.
Acasta.	Dans les éponges.
Creusia, *Pyrgoma.*	Dans les coraux.

rangé dans cette classe. M. Cuvier, dans la dernière édition du *Règne animal*, place le genre Dentalium dans ses Annélides Tubicoles, mais avec une sorte d'hésitation. « Si l'opercule, dit-il, rappelle le pied des vermets et des siliquaires, « qui déjà ont été transportés dans la classe des mollusques, les branchies rap- « pellent beaucoup celles des amphitrites et des térébelles. Des observations « ultérieures sur leur anatomie, et principalement sur leur système nerveux « et vasculaire, résoudront ce problème. » (Tom. 3, p. 107.) W. J. B.

CONCHIFÈRES.

	Profondeur en brasses.	Observations.
Aspergillum	+	Dans les sables; probablement sur les bas fonds.
Clavagella	0 à 11	Dans les rochers.
Fistulana	+	Sables ou vase solide.
Septaria (Lam.)	+	Portées au jour par l'action volcanique sur les côtes de Sumatra.
Gastrochæna	3 à 10	Dans l'intérieur d'autres coquilles, ou dans des cavités préexistantes dans les rochers; ou dans des cavités des rochers creusées et incrustées par l'animal.
Teredo	0 à 10	Il perfore les bois; détruit les pilotis, les digues, les bâtiments.
Pholas	0 à 9	Il perce le bois, les rochers, l'argile durcie, etc.
Xylophaga	0 à 45	Il perfore le bois; un échantillon a été rejeté par la mer à Gravesend dans un fragment de bois.
Petricola	0 à 11	Dans les rochers et les coquilles; dans des cavités que l'animal se creuse lui-même.
Solen	0 à 13	Plages de sable; ils y creusent des cavités verticales et s'y tiennent cachés lorsque les sables sont découverts à la marée basse.
Solenicurtus		A de médiocres profondeurs.
Glycymeris		Même habitation probablement.
Mya		Plages; elles s'y tiennent souvent ensevelies, leur tube faisant à peine saillie; dans la vase; aux embouchures de rivières.
Panopæa	+	Sables; bas-fonds.
Anatina		Mémes situations à peu près.
Lutraria	+	Sables.
Solenella	7 à 45	Vase molle.
Mactra	0 à 12	Vase sableuse et sables.
Galeomma	+	Côtes.
Anatinella	+	Sables. Côtes de Ceylan.
Crassatella	8 à 12	Vase sableuse.
Pholadomya	+	Probablement dans les eaux profondes; le seul échantillon vivant connu (qui est dans la collection de M. Broderip) a été rejeté sur la plage à Tortola, après un ouragan.

	Profondeur en brasses.	Observations.
Solenimya	+	Probablement sur des bancs de sable.
Amphidesma	0 à 40	Sables et vase.
Cumingia	0 à 6	Dans l'argile, la vase et les fentes des rochers.
Corbula	0 à 13	Vase sableuse.
Pandora	0 à 10	Sables.
Saxicava		Littorales. Dans des pierres et des coquilles.
Venirupis		Littorales. Dans des rochers et des sables.
Pullastra	0 à 10	Sables ou vase sableuse.
Sanguinolaria	5 à 13	Vase sableuse.
Psammobia	0 à 13	Sables.
Tellina	0 à 17	Sables.
Tellinides	5 à 16	Vase sableuse.
Corbis	+	Probablement sur les sables.
Lucina	5 à 11	Vase sableuse et vase.
Ungulina	+	Sables probablement.
Donax	0 à 10	Sables et vase sableuse.
Capsa	5 à 12	Vase sableuse et vase molle.
Astarte	0 à 10	Vase sableuse.
Cyprina	+	Vase sableuse.
Cytherea	0 à 50	Vase, sables, sables grossiers.
Venus	0 à 50	*Idem.*
Venericardia	0 à 50	Vase et sables.
Cardium	0 à 13	Vase, sables et graviers.
Cardita	0 à 13	Vase et sables. Adhérentes aux pierres quelquefois.
Cypricardia	+	Sables et sur les récifs.
Isocardia	10 à 20	Vase et sables.
Cucullæa	+	Sables.
Byssoarca	0 à 75	Amarrées aux pierres et aux coquilles.
Arca	0 à 17	Vase sableuse et vase; amarrées aux pierres, aux coraux, etc.
Pectunculus	5 à 17	Vase sableuse et sables.
Nucula	0 à 60	Vase sableuse et sables. Embouchures et haute mer.[1]
Trigonia	6 à 14	N'ont été découvertes jusqu'ici que sur les côtes d'Australie; vase sableuse.
Myochama		Sur les Trigonies.

[1] Suivant M. Cuming, les espèces de ce genre vivent à des profondeurs très-variables; car il a trouvé la *N. cuneata* de 14 à 45 brasses; la *N. obliqua* de 14 à 60 brasses; et la *N. Pisum* de 17 à 45 brasses. W. J. B.

	Profondeur en brasses.	Observations.
Chama	0 à 17	Adhérentes aux rochers, aux pierres et aux coquilles.
Cleidothærus		*Idem*. Bas-fonds.
Tridacna	0 à 7	Amarrées aux rochers et sur les récifs de corail.
Hippopus	0 à 7	Amarrées aux rochers.
Modiola	0 à 17	Littorales; amarrées aux rochers, aux pierres et aux coquilles.[1]
Mytilus		*Idem*; et sur les crustacés, les coquilles, etc.
Lythodomus	0 à 10	*Idem*. Adhérents d'abord par leur byssus aux rochers, dans lesquels ils pénètrent plus tard pour habiter la cavité qu'ils y ont creusée. Dans des coquilles.
Pinna	0 à 17	Fonds de sables; amarrées par un byssus.
Crenatula	+	Dans les éponges et amarrées aux coraux, etc.
Perna	0 à 10	Littorales. Amarrées aux mangliers, aux coraux, etc.
Malleus	0 à 7	Amarrés par un byssus aux rochers, etc.
Avicula	0 à 20	Amarrées aux mangliers, aux coraux, aux coquilles et aux rochers.
Meleagrina	0 à 10	Amarrées aux rochers par un byssus.
Pedum	+	Attachés aux rochers.
Lima	0 à 30	Amarrées par un byssus.
Pecten	0 à 20	Sables, vase sableuse et vase.
Plicatula	4 à 11	Adhérentes aux pierres, aux coquilles, etc.
Spondylus	0 à 17	Attachés aux rochers, aux coraux, etc.
Gryphæa	Bas-fonds.	Sur les graviers et les sables; embouchures.
Ostrea	0 à 17	Sur les graviers et les sables; embouchures et haute mer. Adhérentes quelquefois aux rochers, aux arbres, etc.[2]
Vulsella	+	Dans les éponges, etc.
Placuna	+	Fonds de sable.
Anomia	0 à 12	Sur les huîtres et d'autres coquilles; sur les rochers, etc.

[1] La *Modiola discors* flotte librement, enveloppée dans son propre byssus soyeux. Une Modiole vit dans les Ascidies, et une autre flotte dans les algues du Golfe ou de *Sargasso*. W. J. B.

[2] Je possède un grand individu de crabe, sur le dos et les pinces duquel sont attachées plusieurs huîtres; quelques-unes de ces huîtres sont très-grandes et ont dû avoir de six à sept ans. Le crabe et les huîtres étaient vivants lorsque l'échantillon fut apporté à Londres. W. J. B.

	Profondeur en brasses.	Observations.
Placunanomia	11 à 17	Vase sableuse.
Crania	+	Sur les pierres et les coquilles. Pêchées avec des coraux dans la Méditerranée, et avec les lignes des morues sur les côtes de Shetland; très-profondes probablement.
Orbicula	0 à 17	Attachées à des pierres, des coquilles, des débris de naufrages, etc.; vase sableuse.
Hypponix	0 à 16	Adhérentes aux pierres et aux coquilles.
Terebratula	10 à 90	Amarrées aux rochers, aux coquilles, etc.
Thecidium		Parmi le corail rouge. Mers de Toscane.
Lingula	0 à 17	Trouvées à la marée basse, dans un sable grossier, de quatre à six pouces au-dessous de la surface du sable. Sables de corail.

MOLLUSQUES.

Hyalea	+	Nageant librement.
Chiton	0 à 25	Rampant sur les rochers, les pierres, etc., et il y adhère.
Capulus (*Pileopsis*, Lam.)	0 à 20	Rampant et adhérant aux coquilles et aux pierres.
Scutella		Sables de corail et plages de sable.
Patella	0 à 30	Côtes de rochers et pierres; algues marines.
Pleurobranchus	+	*Idem.*
Umbrella	+	*Idem.* Littorales.
Parmophorus	+	*Idem.*
Emarginula	0 à 11	*Idem.*
Siphonaria	+	*Idem.* Littorales.
Fissurella	0 à 25	*Idem.*
Calyptræa	0 à 25	Rochers, pierres et coquilles.
Crepidula	0 à 40	*Idem.* Côtes, embouchures; rivières où monte la marée.
Bulla / *Bullæa*	0 à 12	Sables et vase sableuse; embouchures.
Aplysia	+	Adhérentes aux rochers.
Dolabella	6	Sables.
Melania		Embouchures; dans les eaux douces aussi.
Nerita		Littorales; rampent sur les rochers et les algues.
Natica	0 à 40	*Idem.* Vase et vase sableuse. Embouchures; rivières où monte la marée.

	Profondeur en brasses.	Observations.
Janthina		Nageant librement dans l'océan.
Sigaretus	5 à 15	Sable.
Stomatia	7	Sur les méléagrines et les coraux.
Haliotis		Littorales; adhérentes aux rochers, etc.
Scissurella	+	
Tornatella	Bas-fonds.	Rampant sur les sables et y laissant des sillons.
Pyramidella	0 à 12	Sur les récifs de corail, les sables et les vases sableuses.
Vermetus	0 à 12	Dans les éponges; sur les pierres et les coquilles; dans le sable de corail et le sable.
Siliquaria	+	Trouvées dans les éponges.
Magilus	+	Dans les coraux. A mesure que le corail augmente de volume, le Magile sécrète un tube très-épais et presque cristallin, dont l'extrémité est toujours à la surface du corail.
Stylifer	+	Implantés dans les rayons des Astéries; trouvés sur les Échinus. Littoraux.
Scalaria	7 à 13	Vase sableuse.
Rissoa	+	Côtes et rivages.
Delphinula	+	Rampant sur les rochers et les algues.
Solarium		Littoraux; sur les rochers et les algues.
Rotella	+	*Idem* probablement.
Trochus	0 à 45	Rampant sur les rochers et les algues; sables, vase sableuse et gravier.
Monodon	+	Sur les rochers et les algues.
Littorina		*Idem*. Littorales.[1]
Turbo	0 à 10	Sur les rochers et les algues.
Planaxis		Littorales; sous les pierres.
Phasianella	Peu profondes.	*Iles, côtes et embouchures.
Turritella	5 à 20	Vase sableuse.
Cerithium	0 à 17	*Trouvés sur des fonds de nature diverse. Embouchures.[2]

[1] La *Littorina pulchra* a été trouvée sur des mangliers, à 14 pieds au-dessus de l'eau. On en a conservé aussi de vivantes, hors de l'eau, pendant six mois. — *Cuming*. W. J. B.

[2] Tous les genres dans lesquels un astérisque précède les observations, peuvent être regardés comme animaux de proie, et par conséquent comme changeant de place pour chercher cette proie soit vivante, soit morte; et quoiqu'ils puissent se trouver à diverses profondeurs, et sur des fonds de nature diverse, on les rencontre cependant presque exclusivement sur les côtes ou sur des fonds où l'on

	Profondeur en brasses.	Observations.
Potamides		* Embouchures ; dans les eaux douces aussi.
Pleurotoma	8 à 16	* Fonds de nature diverse.
Turbinella	0 à 18	* Vase sableuse.
Cancellaria	5 à 16	* *Idem.*
Fasciolaria	0 à 7	* Vase.
Fusus	0 à 11	* Vase, vase sableuse et sable.
Pyrula	0 à 9	* *Idem.*
Struthiolaria	+	*
Ranella	0 à 11	* Fonds de nature diverse.
Murex	5 à 25	* *Idem.*
Typhis	6 à 11	* Vase sableuse.
Triton	0 à 30	* Fonds de nature diverse.
Rostellaria	+	* Un individu en a été rapporté du fond de la mer dans la vase restée sur la patte de l'ancre d'un vaisseau de la Compagnie des Indes dans le détroit de Macassar.
Pterocetas	+	* Indiqués jusqu'ici comme littoraux seulement.
Strombus	0 à 13	* Fonds de nature diverse probablement.
Cassidaria	+	* *Idem.*
Oniscia	+	* Littorales ; sables grossiers.
Cassis	5 à 8	* Dans les sables.
Ricinula	+	* Sur les récifs de corail et les rochers.
Purpura	0 à 25	* Le plus grand nombre des espèces de ce genre sont littorales.
Monoceras	0 à 7	* Sur les rochers ; presque toutes les espèces sont littorales.
Concholepas		* Ne sont connues jusqu'à présent que comme littorales.
Harpa	5 à 11	* Prises au hameçon, et plus souvent encore avec des râteaux le matin, lorsqu'elles vont en quête de leur proie.
Dolium	+	* Sur les récifs.
Nassa	0 à 15	* Sable, vase sableuse et sous les pierres.

est sur la sonde. Le plus grand nombre de ces animaux percent les coquilles des conchifères au moyen d'un organe qui fait un trou aussi parfaitement rond que pourrait le faire une tarière, puis ils sucent les chairs de leurs victimes.

Une espèce au moins du genre *Cerithium* est très-vivace ; car le *C. telescopium*, envoyé de Calcutta à M. G. B. Sowerby, dans de l'eau de mer, a vécu pendant plus d'une semaine, dans une petite boîte d'étain, après avoir été sorti de l'eau.

	Profondeur en brasses.	Observations.
Buccinum	0 à 10	* La plupart des espèces sont littorales.
Trichotropis	10 à 15	* Dans la baie comprise entre le cap des Glaces et celui de Lisbonne.
Eburna	+	* Vase sableuse ?
Terebra	0 à 17	* Elles rampent quelquefois sur les récifs hors de l'eau, mais à portée de la bruine.
Columbella	0 à 16	* Vase sableuse et vase.
Mitra	0 à 17	* Récifs, vase sableuse, sables. Une espèce a été rapportée par une ligne de sonde, à laquelle elle s'était attachée, dans la Méditerranée.
Voluta	7 à 14	* Sables et vase.
Cymba	Petites profondeurs.	* *Idem.*
Melo	*Idem.*	* *Idem.*
Marginella	0 à 9	* Sable, vase sableuse.
Ovulum	0 à 11	* Sous les coraux et les pierres ; sur les algues.
Cypræa		* Littorales ; sous les coraux et les pierres.
Terebellum	+	*
Ancillaria	+	* Une espèce a été draguée dans des eaux d'une profondeur médiocre à la Nouvelle-Zélande.
Oliva	0 à 12	* Dans la vase, la vase sableuse, le sable grossier ; ramenées par des lignes à pêcher.
Conus	0 à 17	* Vase sableuse, etc.
Conohelix	+	Sur les récifs de corail.
Conovulus	Petites profondeurs.	Marins et d'embouchure.
Nodosaria		Littorales.
Spirula		Elles flottent librement sur l'océan.
Cristellaria		Littorales.
Orbiculina		*Idem.*
Nautilus		Ils nagent librement et rampent sur le fond.
Argonauta		Ils nagent librement.
Carinaria		Près des rivages.

FIN.

ERRATA.

Page 17, lignes 23 et 24, *au lieu de* ajoutent un tel poids à cette théorie que l'on peut...., *lisez* ajoutent un grand poids à cette théorie; car on peut....

Page 123, ligne 11, *au lieu de* telles qu'elles devraient être...., *lisez* telles qu'elles devaient être....

Page 136, ligne 4 d'en bas, *au lieu de* la Grande-Bretagne, que le maximum...., *lisez* la Grande-Bretagne, par le capitaine Vidal, que le maximum....

Page 161, ligne 17, *au lieu de* pussent plutôt soutenir...., *lisez* puissent plutôt soutenir....

Page 219, ligne 28, *au lieu de* présentera exactement le même ensemble de fossiles, *lisez* présentera exactement dans chaque localité le même ensemble de fossiles.

De La Beche, *Sir* Henry T[homas] 1796-1855.

Recherches sur la partie théorique de la géologie, par Henry T. De La Bêche ... Tr. de l'anglais par H. de Collegno ... Paris, Strasbourg, F. G. Levrault, 1838.

xvii, 289, [1] p. front., map, diagrs. 22cm.

✓1. Geology. 2. Collegno, H. de, tr.

G S 5-1039

Library, U. S. Geol. survey

(NUC)

